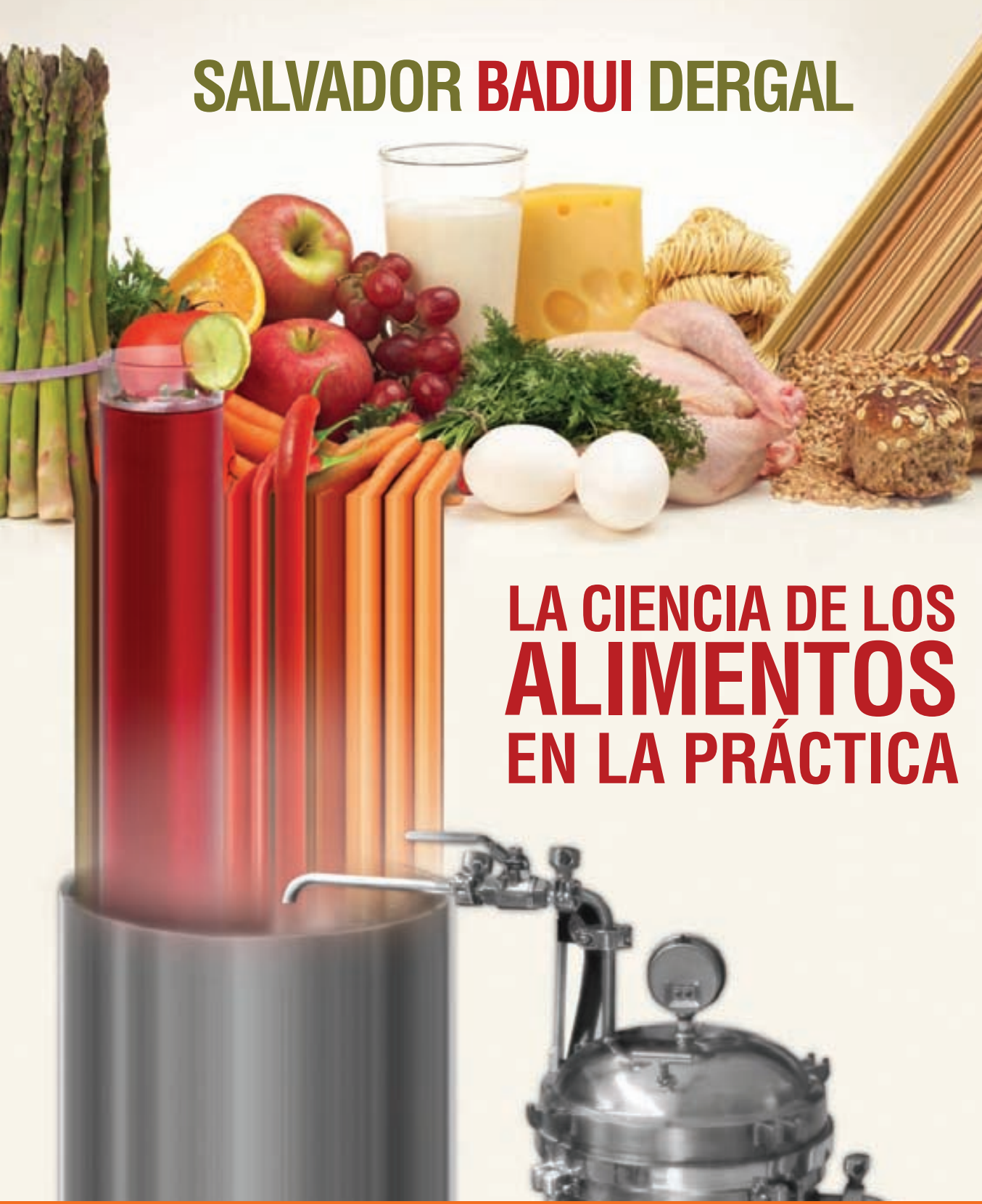
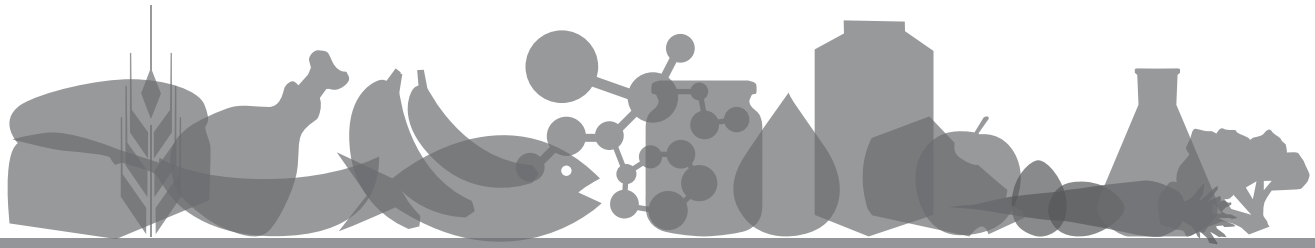
SALVADOR BADUI DERGAL



LA CIENCIA DE LOS ALIMENTOS EN LA PRÁCTICA

ALWAYS LEARNING

PEARSON



La ciencia de los alimentos en la práctica

Salvador Badui Dergal

Doctor en Ciencia de los Alimentos

Director Técnico Grupo Herdez S.A. de C.V.

Revisión técnica

Ruth Pedroza Islas
Coordinadora de Ingeniería de Alimentos e investigadora
Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas
Universidad Iberoamericana

Eva Rodríguez Huezo
Profesora curricular e investigadora
División de Ingeniería química y bioquímica
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

José Luis Ignacio Curiel Monteagudo
Profesor del Colegio de Gastronomía
Universidad del Claustro de Sor Juana

Karla Mercedes Díaz Gutiérrez
Coordinadora del Laboratorio
de Ciencia de los Alimentos
Centro de Estudios Superiores de San Ángel (*CESSA*)

PEARSON

Datos de catalogación bibliográfica

BADUI DERGAL, SALVADOR

La ciencia de los alimentos en la práctica
Primera edición

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2012
ISBN: 978-607-32-0843-7
Área: Ciencias

Formato: 18.5 × 23 cm Páginas: 328

Dirección general:	Laura Koestinger
Dirección Educación Superior:	Mario Contreras
Editora:	Gabriela López Ballesteros
	e-mail: gabriela.lopezballesteros@pearson.com
Editor de desarrollo:	Bernardino Gutiérrez Hernández
Supervisor de producción:	José D. Hernández Garduño
Fotografía y video:	Ernesto Méndez
Ilustraciones:	Rubén Nava Gallardo
Diseño de interiores y portada:	Jorge Evia/Ricardo López
Gerencia editorial	
Educación Superior Latinoamérica:	Marisa de Anta

PRIMERA EDICIÓN, 2012

D.R. © 2012 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
Atlacomulco 500-5o. piso
Industrial Atoto, C.P. 53519
Naucalpan de Juárez, Estado de México
E-mail: editorial.universidades@pearsoned.com

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 1031

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.

ISBN VERSIÓN IMPRESA: 978-607-32-0843-7
ISBN E-BOOK: 978-607-32-0844-4
ISBN E-CHAPTER: 978-607-32-0845-1

Impreso en México. *Printed in Mexico*.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 14 13 12 11

PEARSON

www.pearsoneducacion.net

A María Elena,
Salvador
y Mariana.

Contenido

Prólogo xii

Agradecimientos xiv

Introducción xvi

1 **Naturaleza química de los alimentos** 3

Agua 4

Propiedades del agua 4

Actividad del agua 8

Dureza del agua 9

Agua potable 9

Hidratos de carbono 11

Clasificación 11

Monosacáridos 12

Oligosacáridos 13

Polisacáridos 15

Oscurecimiento no enzimático 19

Proteínas 21

Aminoácidos 22

Estructuras de las proteínas 23

Clasificación de las proteínas 24

Desnaturalización 26
Propiedades funcionales de las proteínas 26
Enzimas 27
Oscurecimiento enzimático 28
Lípidos 30
Grasas y aceites 30
Otros lípidos 35
Rancidez o enranciamiento 36
Vitaminas 38
Hidrosolubles 38
Liposolubles 39
Otros componentes 39

2 Percepción sensorial de los alimentos 41
Color 42
Clorofila 43
Carotenoides 44
Betalaínas 45
Flavonoides 45
Hemoglobina y mioglobina 46
Gusto 47
Olfato 48
Oído 49
Tacto 49
Textura 50
Emulsiones 51
Espumas 52
Soles y geles 53
Otras percepciones 55
Pungencia 55

3 Alimentos y salud 59
Síndrome metabólico y obesidad 60
Nutrición 60
Digestión 61
Energía 63
Agua 64

Hidratos de carbono 65
Proteínas 66
Grasas y aceites 68
Colesterol 69
Vitaminas 69
Minerales o nutrimentos inorgánicos 72
Radicales libres 75

Dietas 76
Alimentos "chatarra" 77
Fitoquímicos 78
Nutracéuticos 80
Alimentos funcionales 81
Intolerancias y alergias 82
Información en las etiquetas de los alimentos 83

4 Presencia de agentes dañinos en los alimentos 87
Contaminación accidental 88
Contaminación física 88
Contaminación química 89
Contaminación biológica 91

Tóxicos naturales y factores antinutricionales 101
Contaminación intencional o adulteración 102
Sustancias sintetizadas por altas temperaturas 103
Contaminación cruzada 103
Distintivo H 103

5 Preparación de los alimentos en la cocina 105
Gastronomía molecular 106
Calentamiento 107
Calor y temperatura 108
Factores que influyen en el calentamiento 110

Calentamiento en la cocina 111
Cocción en agua en recipiente abierto 112
Escaldado o blanqueado 112
Olla a presión 113
Cocción con vapor 113
Freído 114

Horneado 116
Rostizado 116
Efecto negativo de las altas temperaturas 117
Materiales para altas temperaturas 117
Papel aluminio 119

6 Conservación industrial de los alimentos 121
Generalidades sobre empaques 124
Envasado 126
Envasado en latas (enlatado) 127
Envasado en vidrio 129
Envasado en cartón laminado 129
Envasado en plástico 130
Bajas temperaturas 132
Refrigeración 133
Congelación 134
Reducción del contenido de agua 136
Concentración 137
Deshidratación 138
Alimentos de humedad intermedia 140
Ahumado 140
Reducción de oxígeno 141
Radiaciones 142
Microondas 142
Rayos gama (γ) 143
Salado/azucarado 144
Pasteurización hiperbárica 145
Fermentaciones 145
Otros métodos 146

7 Aditivos 149
Acidulantes 150
Acondicionadores de la panificación 151
Antiaglomerantes 152
Antioxidantes 152
Colorantes 153
Conservadores 154
Edulcorantes o endulzantes 156

Emulsionantes 158
Enzimas 158
Especias 159
Espesantes y gelificantes 160
Jarabes de glucosa y fructosa 162
Nutrimentos 162
Polioles 163
Polvos para hornear 164
Potenciadores del sabor 164
Probióticos y prebióticos 165
Saborizantes 166
Sal y azúcar 167
Secuestrantes 168
Sustitutos de grasas 168
Otros aditivos 169

8 **Clases de alimentos** 171
Cereales 172
Maíz 173
Trigo 175
Arroz 183
Otros cereales 184
Leguminosas 185
Frijoles 186
Soya 186
Otras leguminosas 188
Frutos secos 188
Vegetales 189
Composición química 191
Agentes indeseables en los vegetales 192
Deterioro de los vegetales 194
Conservación de los vegetales frescos 194
Cocimiento de los vegetales 196
Verduras 197
Frutas 206
Hongos 212

Leche y productos lácteos **213**
Composición de la leche 213
Productos lácteos 217
Carnes **225**
Crianza y sacrificio del animal 226
Maduración de las carnes 227
Composición de las carnes 228
Preparación de las carnes 231
Grenetina 233
Embutidos 233
Deterioro de las carnes y derivados 234
Peces y otros productos del mar **234**
Composición química 235
Deterioro del pescado 236
Infecciones e intoxicaciones con productos del mar 237
Conservación y preparación 238
Huevo **239**
Estructura y composición del huevo 239
Preparación del huevo 241
Usos y propiedades funcionales del huevo 243
Deterioro del huevo 245
Otros alimentos **245**
Insectos 245
Miel 246
Cuitlacoche 246
Cacao y chocolate 247
Transgénicos **248**
Orgánicos e hidropónicos **249**

9 Bebidas no alcohólicas **251**
Té **252**
Café **252**
Bebidas gaseosas **254**

Anexos **256**

Anexo I **257**
Composición química de los alimentos **257**

Anexo II **262**
Recomendaciones de ingestión diaria de proteínas, hidratos de carbono y lípidos 262

Anexo III **265**
Valor nutrimental de referencia 265

Anexo IV **267**
Redondeo de cifras para la declaración nutrimental 267

Anexo V **269**
Tabla de conversión de unidades 269

Anexo VI **271**
Potencial de hidrógeno y grados Brix 271

Anexo VII **273**
Abreviaturas más comunes 273

Bibliografía **277**

Prólogo

En las últimas décadas el cúmulo de conocimientos relacionados con cada uno de los eslabones que integran la cadena alimentaria ha crecido de manera exponencial; desde la producción primaria en el campo, en la granja o en el mar, hasta su consumo, pasando por las distintas etapas de transporte, industrialización, almacenamiento, comercialización y preparación en la cocina.

Al profundizar en estas áreas se ha comprobado la enorme complejidad química que representan los alimentos. Por ejemplo, una persona de 70 años que realice las tres comidas recomendadas al día, habrá hecho esta acción 76 650 veces; si los insumos de estas tres comidas son variados y algunos alimentos se someten a altas temperaturas para su preparación, es muy probable que ingiera más de 800 000 compuestos diariamente, haciendo de los alimentos los productos químicos más complejos con los que haya interactuado.

Este nuevo bagaje técnico-científico ha permitido entender mejor la naturaleza de los alimentos; paralelamente se han desarrollado nuevas tecnologías y áreas del conocimiento, por ejemplo: la pasteurización hiperbárica, que surge como un método alterno para la conservación de alimentos sin el uso del tradicional calentamiento, como en el enlatado; la creación de los llamados empaques *inteligentes,* aplicando los principios de la nanotecnología; el surgimiento de la novedosa nutrigenómica, que relaciona la nutrición con la expresión de los genes y el desarrollo de diversas enfermedades; y la actividad biológica de muchos nutracéuticos y fitoquímicos que es ahora mejor entendida y con ellos se fabrican alimentos funcionales; en fin, muchos otros ejemplos que se mencionan a lo largo de este texto.

La ciencia de los alimentos estudia todos los aspectos relacionados con su manejo y consumo; se trata de una ciencia multidisciplinaria, y por consiguiente, muy amplia y compleja, ya que está integrada por áreas como la química, la bioquímica, la nutrición, la biología, la microbiología, la ingeniería, la física y la toxicología. En consecuencia, escribir un libro que abarcara los principales aspectos prácticos de esta ciencia no fue tarea sencilla; sin embargo, este texto incluye lo más relevante de esta rama del conocimiento.

Este libro presenta diversos conceptos de la ciencia de los alimentos con un enfoque práctico, en un lenguaje claro y con la terminología técnica indispensable. Los principios

de la química que se incluyen están descritos de manera sencilla y muy accesible, aun para aquellos sin conocimientos sobre esta disciplina.

Los nueve capítulos que integran este texto están entrelazados, de manera que hay una constante correspondencia entre ellos. El capítulo 1 describe la naturaleza química de los alimentos, base para un mejor entendimiento del resto del libro. El capítulo 2 ofrece un panorama de los mecanismos de percepción de los alimentos, como el color, la textura o el picor. El capítulo 3 describe la estrecha relación que existe entre la salud y lo que se ingiere, incluyendo los llamados alimentos *chatarra,* sobre todo ahora que diversos países padecen los estragos de la obesidad y otras enfermedades relacionadas con una dieta inadecuada. El capítulo 4 presenta los agentes dañinos, como los alergenos y las toxinas, que pueden estar presentes en un alimento; incluye también aquellos agentes que de manera natural existen en lo que consumimos diariamente.

La forma de preparar los alimentos en la cocina determina no sólo su sabor, su aroma y su textura, sino también su valor nutrimental: este conocimiento técnico científico aplicado a la cocina dio origen a distintos movimientos vanguardistas como la Gastronomía Molecular, aspectos que se revisan en el capítulo 5. Muchos de los alimentos los ingerimos después de un tratamiento por parte de la industria, que acude a diversos sistemas para su conservación, algunos muy tradicionales como el enlatado, mientras que otros, como los pulsos eléctricos de alto voltaje, están todavía en etapa de experimentación; estos métodos se detallan en el capítulo 6.

El uso de aditivos siempre ha causado controversia entre los consumidores; el capítulo 7 describe la razón de su empleo y cómo se realiza. El capítulo 8 ofrece un análisis de las familias de alimentos más relevantes, como los cereales, las leguminosas, las verduras, las frutas, los lácteos, las carnes, los pescados y el huevo, además de los transgénicos, los orgánicos y los hidropónicos. Finalmente, el capítulo 9 revisa brevemente la naturaleza, las virtudes y los inconvenientes de algunas bebidas no alcohólicas, como el té, el café y las controvertidas bebidas embotelladas.

Agradecimientos

El autor agradece a las siguientes personas su muy valiosa colaboración en la revisión de este texto. Sus comentarios y sugerencias han enriquecido la obra para beneficio del lector. A todos ellos, un sincero reconocimiento por su participación.

Q. F. B. Ma. Lorena Cassís Nosthas
Jefa de la Licenciatura en Química de Alimentos
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad La Salle

M. C. T. A. José Luis Ignacio Curiel Monteagudo
Investigador y profesor universitario
Colegio de Gastronomía
Universidad del Claustro de Sor Juana

M. en I. Karla M. Díaz Gutiérrez
Coordinadora de Ciencias de los Alimentos
Centro de Estudios Superiores de San Ángel
CESSA Universidad

Ing. Arturo Miranda Cortés
Director industrial
Servicios Corporativos Alpura, S. A. de C. V.

Ing. Waldemar Montalvo Monroy
Gerente operativo
Cámara Nacional de la Industria de Conservas Alimenticias (CANAINCA)

M. en C. María Guadalupe Morales Meza
Profesora investigadora
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad La Salle

Ing. Jorge Mario Ortega Ramírez
Gerente Técnico y Comercial
Fábrica de Envases del Pacífico. S. A. de C. V.

M. en C. Adriana Quintero Rodríguez
Ex-presidenta de la
Asociación Mexicana de Nutriología, A. C.

Q. F. B. Felipe Rodríguez-Palacios
Director de Seguridad Alimentaria
Pepsico México, Centroamérica y Caribe

Q. F. B. Ernesto O. Salinas Gómezroel
Asuntos regulatorios y científicos

Q. F. B. Gerardo Suárez Martínez
Consultor en panificación
Universidad Nacional Autónoma de México

Editorial Pearson agradece a la Universidad Iberoamericana y a los profesores y autoridades de Ingeniería de Alimentos todas las atenciones y facilidades que brindaron a nuestro equipo editorial para que fuera posible la filmación de los procesos y toma de fotografías que acompañan a este libro.

Agradecemos muy especialmente a las siguientes personas:

Dr. Jesús Alberto Quezada Gallo
Coordinador de la Planta piloto de alimentos

Dra. Ruth Pedroza Islas
Coordinadora de Ingeniería de Alimentos

Ing. Alma Salazar Arzave
Profesora de asignatura

Mtra. Ruth Brenes Pedroza
Profesora de asignatura

Sr. Juan Romero Castro
Encargado de área

Introducción

En términos generales, podemos definir "alimento" como ***cualquier sustancia o producto, sólido, semisólido, natural o transformado, que proporciona al organismo elementos para su nutrición***. Y para que el ser humano lo consuma también debe ser atractivo sensorialmente e inocuo.

La cadena alimentaria se inicia con las actividades primarias de la ganadería, la agricultura y la pesca, a las que le siguen muchas otras de selección, transporte, almacenamiento, acondicionamiento, conservación, industrialización y comercialización, hasta llegar a la preparación en la cocina. El fin de este complejo proceso, que involucra mucha manipulación, es suministrar al consumidor productos con los cinco atributos básicos de un alimento atractivo: ***color, sabor, textura, valor nutritivo*** y ***seguridad*** o ***inocuidad***. Sin embargo, por su composición química los alimentos tienen una alta reactividad, y en cada etapa de esta larga cadena están propensos a modificaciones positivas y negativas. Algunas sólo implican la aparición de un color indeseable, como el oscurecimiento de las frutas, mientras que otras mejoran la digestibilidad, como la papa o un corte de carne, o bien el crecimiento de algunos elementos nocivos como el ***Clostridium botulinum*** en una lata de sopa, que puede provocar incluso la muerte. Además, los alimentos contienen agentes bioactivos naturales, tanto benéficos como deletéreos para el humano.

El estudio de éstos y otros aspectos relacionados, integran la ***Ciencia de los alimentos***, rama del conocimiento que conjunta principios de química, física, biología, bioquímica, nutrición, ingeniería, microbiología y toxicología, y que en décadas recientes ha sido la base del actual abanico de productos frescos y procesados. Este bagaje técnico permite conservarlos, diseñar productos para personas intolerantes o alérgicas a ciertas sustancias, enriquecer otros con fitoquímicos y nutracéuticos, desarrollar los alimentos funcionales, los genéticamente modificados y los orgánicos, y establecer las bases de la gastronomía molecular. La relación de la nutrición con la genética, llamada nutrigenómica, encuentra la etiología de las enfermedades relacionadas con la alimentación; con base en lo cual se pueden diseñar dietas personalizadas, acordes con los genes de cada individuo.

Todos los alimentos están constituidos por los siguientes elementos en distintas proporciones: agua, hidratos de carbono, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales, pigmentos,

sabores y agentes bioactivos; las interacciones físicas y químicas entre ellos determinan la calidad e intensidad de los cinco atributos referidos antes. El solo hecho de calentarlos implica transformaciones que se conocen sólo empíricamente pero que ahora, gracias a la ciencia de los alimentos, se entienden con detalle, y en consecuencia se puede promover o limitar su consumo.

Debido a la amplitud de esta área del conocimiento, resaltaremos aquí sus aspectos más relevantes con un enfoque más práctico, sin el uso de términos científicos y técnicos propios de los libros especializados, por lo que el lector no requerirá de un profundo conocimiento de química ni de las demás áreas a las que se hace alusión en este texto.

Los datos sobre la composición química que se presentan en el anexo I se tomaron de las ***Tablas de composición de alimentos,*** de Miriam Muñoz de Chávez. Debido a la gran variabilidad que se presenta en la naturaleza, algunas cifras pueden ser ligeramente diferentes de las que conozca el lector. También se incluyen otros anexos para definir las unidades de medición más empleadas en el libro, así como algunos conceptos técnicos sobre el pH, los grados Brix y las abreviaturas más usuales.

En muchas ocasiones al agua no se le considera nutrimento, como sucede con los hidratos de carbono, las proteínas y los lípidos, ya que su molécula no sufre cambios químicos durante su aprovechamiento metabólico; sin embargo, es un hecho que sin ella, ni las enzimas ni los ácidos nucléicos responsables de la actividad biológica de toda célula podrían llevar a cabo su vital función. Es tan importante, que la vida en nuestro planeta se originó en el agua, y entre otras funciones, interviene en la fotosíntesis que sustenta el reino vegetal y por consecuencia, el reino animal.

1

Naturaleza química de los alimentos

De los casi 100 elementos químicos conocidos, sólo algunos están presentes en las células vegetales y animales. Destacan el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N), seguidos del azufre (S), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), fósforo (P) y otros minerales. La combinación de CHON en miles de formas da origen a los macrocomponentes de los alimentos: agua, hidratos de carbono, proteínas y lípidos, que se encuentran en distintas proporciones y que suman 98% o más del total (anexo 1); los vegetales contienen mucha agua, las carnes son ricas en proteínas, los cereales en hidratos de carbono, y las nueces en grasas. La interacción físico-química de estos cuatro compuestos produce texturas tan contrastantes como la rigidez de la carne de res y de la cascarilla del trigo, la untuosidad del aguacate y de la mayonesa, la granulosidad del membrillo, las espumas de la cerveza y del merengue, la porosidad del pan, la plasticidad de la tortilla, el gel de los postres y la suavidad del filete de pescado. El 2% restante de la composición son vitaminas, sustancias que confieren color, aroma y sabor, y agentes bioactivos.

Una persona que haga tres comidas al día lo habrá hecho 76 650 veces en 70 años, lo que equivale a consumir de 20 a 25 toneladas de alimentos. Si las tres comidas son variadas y algunas sometidas a altas temperaturas, es muy probable que ingiera más de 800 000 compuestos químicos al día, haciendo de los alimentos los productos químicos más complejos con los que el hombre interactúa.

Agua

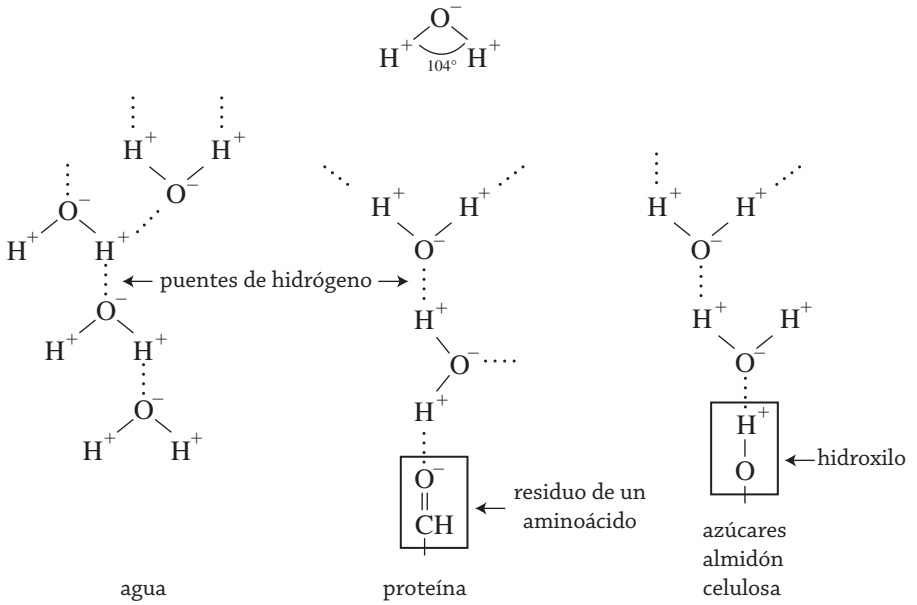
En muchas ocasiones al agua no se le considera nutrimento, como sucede con los hidratos de carbono, las proteínas y los lípidos, ya que su molécula no sufre cambios químicos durante su aprovechamiento metabólico; sin embargo, es un hecho que sin ella, ni las enzimas ni los ácidos nucleicos responsables de la actividad biológica de toda célula podrían llevar a cabo su vital función. Es tan importante, que la vida en nuestro planeta se originó en el agua, y entre otras funciones interviene en la fotosíntesis que sustenta el reino vegetal y por consecuencia el reino animal. Es el principal constituyente de los alimentos frescos, por ejemplo, la lechuga, la sandía o el melón contienen más de 90% de agua, mientras que la leche 87%, las carnes entre 60 y 70% y las nueces menos de 5% (anexo 1). Influye de diferentes formas y su concentración es proporcional a la complejidad del método requerido para conservar los alimentos. Es un hecho que entre más agua tenga cierto alimento, por ejemplo la que contiene la leche líquida, es más difícil su conservación; contrario a como ocurre con la leche en polvo, que por su bajo contenido de agua se conserva durante más tiempo. Además, el comportamiento físico del agua desempeña una función muy importante en diversos procesos industriales y caseros como la refrigeración, la congelación, la deshidratación y la concentración.

Propiedades del agua

A pesar de que es una molécula simple con dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H—O—H), el agua despliega propiedades físicas y químicas muy complejas que no corresponden con esa simpleza. Eso se debe a la diferencia de sus cargas eléctricas entre el oxígeno negativo (O^-) y el hidrógeno positivo (H^+) que crea una especie de microimán, llamado dipolo, polaridad que genera inestabilidad eléctrica a la molécula y es la base del calentamiento en microondas, entre otros muchos efectos. Gracias a esta condición dipolar se establecen atracciones positivo-negativas, llamadas *puentes de hidrógeno* (figura 1.1), entre moléculas de agua, o bien de éstas con otras que contengan un dipolo, como las proteínas o los hidratos de carbono con sus múltiples hidroxilos (—OH). A las sustancias que interactúan por puentes de hidrógeno se les llama polares o hidrófilas (del griego *hydro,* agua y *phileo*, amar), mientras que aquellas que no lo hacen y hasta la rechazan, como las grasas y aceites, se designan apolares o hidrófobas. De hecho, para unir una molécula polar (agua) con una apolar (aceite) se acude a los emulsionantes, como ocurre con los aderezos y la mayonesa.

Los puentes de hidrógeno entre el agua y las proteínas y los hidratos de carbono son responsables de la retención del líquido dentro del alimento, lo que se refleja en la frescura y turgencia de los vegetales y la jugosidad de las carnes; estas mismas uniones son el principio para la formación de espumas, de geles, de purés de papa y de disolver el azúcar y la sal. Además, hacen que el agua sea la única sustancia en la naturaleza que exista en los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

Figura 1.1 **Interacciones del agua a través de puentes de hidrógeno.**



En el hielo todas las moléculas de agua están unidas por puentes de hidrógeno, que aun siendo enlaces muy débiles, el cúmulo de ellos crea una fuerte cohesión interna para conformar un sólido; en el vapor no hay tales uniones, y en consecuencia las moléculas están libres para escapar a la atmósfera; el líquido es un punto intermedio entre 100 y 0% de puentes de hidrógeno, lo que depende de su temperatura.

El hielo es poroso debido a que sus moléculas están separadas por espacios libres lo que provoca que ocupen un volumen 10 a 15% mayor que en su estado acuoso; ello hace que su densidad (0.92 g/mL) sea menor que en su estado líquido (1.0 g/mL), condición que hace que los cubos floten en una bebida, y también ocasiona que en invierno se rompan las tuberías de agua y los radiadores de los automóviles (por el incremento de su volumen). Como dato curioso, el agua y el ácido acético del vinagre son de los pocos líquidos que incrementan su volumen al congelarse, ya que la mayoría lo reduce. Este aumento de volumen también depende de la cantidad de aire ocluido en el agua al momento de la congelación; si las charolas de hielo del refrigerador se llenan desde una altura que provoque turbulencia se favorece la incorporación de burbujas, las cuales causan pequeñas explosiones al ser expulsadas cuando el hielo se derrite.

Los puentes de hidrógeno son los responsables de la fuerte atracción y cohesión interna entre las moléculas del agua líquida que se refleja en sus altos valores de densidad, tensión superficial y calor específico. La tensión superficial (fuerzas internas entre moléculas) provoca que la superficie del agua se comporte como una delgada película elástica y permite que un insecto se pose en ella sin hundirse. Su calor específico es mayor que el de la grasa y el aceite, tanto el que se usa para freír como

el contenido en un trozo de carne, por lo que se requiere más energía para calentar agua que para que la grasa o el aceite lleguen a la misma temperatura. Buena parte de esa energía se destina a romper primero los puentes de hidrógeno y a disminuir la tensión superficial para después incrementar la temperatura. El agua pura es neutra (pH 7); sin embargo, presenta acidez o alcalinidad dependiendo de su origen: lago, lluvia, río, mar o pozo; puede ser algo ácida por la disolución del bióxido de carbono (CO_2) del aire que se convierte en ácido carbónico (H_2CO_3), o alcalina por la presencia de sales solubles de calcio y de magnesio y responsables de su dureza.

Diagrama de fases

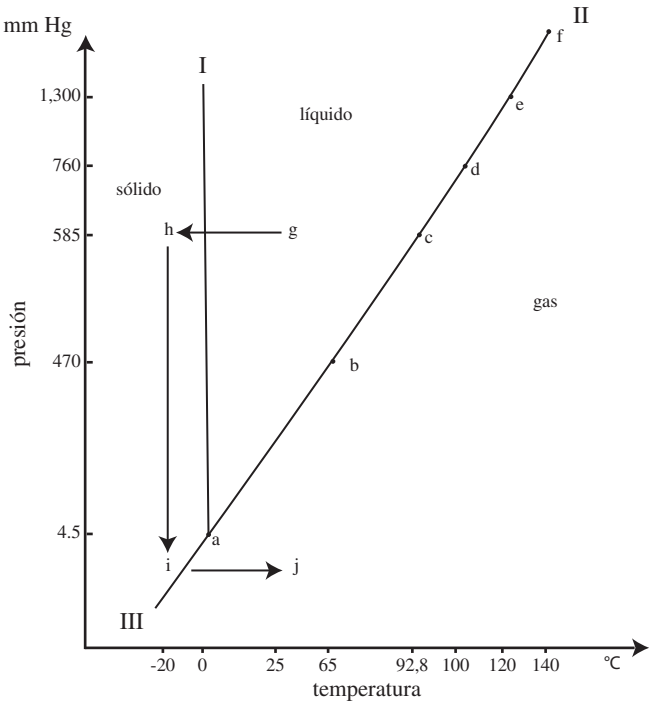
La formación, cantidad y estabilidad de los puentes de hidrógeno, y en consecuencia la existencia del hielo, del agua líquida y del vapor, dependen de la temperatura y de la presión. Los tres estados se encuentran en equilibrio, como se muestra en la figura 1.2, cuyas curvas, I, II y III delimitan cada uno de estos estados; la intersección de las tres curvas da origen al muy preciso punto triple, 0.01 °C y 4.5 mm Hg, en el que teóricamente el hielo, el agua y el vapor conviven.

Para entender la figura, tomemos como referencia la presión atmosférica de 760 mm Hg que corresponde al nivel del mar. El agua líquida se evapora, es decir, cruza la curva II de izquierda a derecha a 100 °C; para evaporarse y desprenderse a la atmósfera, sus moléculas gaseosas deben vencer la presión que ejerce sobre ellas una columna de aire de 160 km de altura, aproximadamente, que equivale a la presión atmosférica; la densidad del aire es muy baja, pero la cantidad acumulada por centímetro cuadrado a esta altura es considerable. Es decir, entre menos aire, menor presión y más fácil la ebullición; por eso en la Ciudad de México, a 2 200 metros de altura sobre el nivel del mar (msnm), el agua hierve a 92.8 °C ya que posee una presión atmosférica de 585 mm Hg. En general, la ebullición disminuye 1 °C por cada 300 m de altitud, razón por la cual en algunas poblaciones de Sudamérica a 4 000 msnm ésta se alcanza a 86 °C, mientras que en el Everest, se logra a 71 °C (temperatura mínima para hacer un huevo tibio). El efecto opuesto se observa en la olla a presión que alcanza 1 300 a 1 500 mm Hg, presión superior a la atmosférica, lo que provoca que el agua hierva a 120 °C (figura 1.2); en términos de altitud, el agua herviría a 120 °C en un lugar a 6 000 m (300 × 20) bajo el nivel del mar.

Por el contrario, el cruce de la curva II de derecha a izquierda representa la condensación, como se observa al hervir el agua y cuyo vapor se condensa en pequeñas gotas al contacto con una superficie fría. Algo semejante ocurre en la parte externa de un vaso con hielo en un ambiente húmedo de playa o con los anteojos al entrar a una zona húmeda y caliente. Al continuar de derecha a izquierda y cruzar la curva I, se propicia el congelamiento; el regreso sobre esta misma línea corresponde al descongelamiento.

Además del efecto de la presión, la temperatura de ebullición se incrementa con la adición de sustancias de bajo peso molecular, como la sal o el azúcar; por ejemplo, 20 g de sal (2%) por litro de agua sólo la aumenta 1 °C. Sin embargo, esto es más notorio al preparar jarabes con una alta concentración de azúcar y más aún cuando éstos se calien-

Figura 1.2 **Diagrama de fases del agua.**



a: punto triple (0.01, 4.5)
b: evaporación al vacío para fabricar mermeladas (65, 470)
c: ebullición del agua en la Ciudad de México (92.8, 585)
d: ebullición del agua a nivel del mar (100, 760)
e: olla a presión y esterilización industrial (120, 1,300)
f: ultrapasteurización de la leche (140, > 1,300)
g-j: ruta de la liofilización

tan. Al hervir un jarabe se evapora agua, se concentra el azúcar y se incrementa el punto de ebullición. Con este principio se elaboran distintos caramelos usados en la confitería casera e industrial y que se designan como hebra, bola o lámina, con temperaturas de ebullición de 100, 110 y 130 °C, respectivamente.

De igual forma, la sal y el azúcar, junto con el café y el té, reducen la tensión superficial del agua y provocan que al hervirla se formen burbujas que incluso se derraman del recipiente. Contrario a esto, bebidas como el ron y el tequila abaten la temperatura de ebullición al formar mezclas de alcohol-agua que hierven a menor temperatura; este principio se aplica en la *fondue* (alimento típico de las montañas alpinas suizas), cuya fusión del queso se facilita por la adición del tradicional *kirsch* (destilado de cereza) que evita un indeseable sobrecocimiento. En general, las recetas que llevan alcohol requieren de menor temperatura y tiempo de cocción, condiciones que se deben ajustar al sustituirlo por agua.

De igual manera, la temperatura de congelación disminuye con la sal, el azúcar y otras moléculas pequeñas, efecto que se observa en distintas instancias; por ejemplo, los ve-

getales frescos con alta humedad también tienen sales, glucosa y ácidos orgánicos que reducen 1 a 2 °C su congelamiento con respecto al agua pura; los peces de aguas gélidas no se congelan debido a que sus tejidos concentran muchas sustancias nitrogenadas; en los trozos grandes de carne, como la de pavo, se encuentra una proporción de agua de 5 a 10% en la que se concentran las moléculas pequeñas y que no se congela ni a –20 °C; el mar contiene 3% o más de sal que conserva el agua en forma líquida a 0 °C; la alta concentración de sal en las salmueras permite mantener temperaturas bajas que se aprovechan para enfriar bebidas y helados.

Son muy comunes los procesos caseros o industriales que implican cruces de las curvas I y II (congelamiento, descongelamiento, evaporación y condensación), pero es más complejo llevar a cabo aquellos en los que se involucra la curva III. A una presión inferior al punto triple, el hielo se convierte en gas sin haberse convertido a líquido mediante la sublimación, que es la base de la liofilización . Para lograr esto, se sigue la ruta *g-j* que se describe en el capítulo 6 (sección Liofilización). La sublimación también se observa con el llamado *hielo seco,* sólido que en realidad es bióxido de carbono comprimido a –78 °C, y que se transforma en gas sin dejar residuo líquido.

Actividad del agua

Las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas interaccionan de forma diferente con el agua: mientras los dos primeros la retienen por puentes de hidrógeno, las grasas la rechazan, lo que provoca su distribución heterogénea en el alimento. Además, no toda el agua está retenida con la misma intensidad y fuerza. Para entender esto de forma sencilla, tomemos el caso de una proteína: sus grupos hidrófilos envuelven a la molécula con una primera capa de agua, llamada monocapa, que está fuertemente ligada y sobre la cual se sobreponen otras. Entre más alejada esté de la proteína, el agua estará más débilmente unida, es decir, más libre. A partir de este modelo simplificado hay dos fracciones de agua en el alimento: una *ligada* a la materia seca y otra más *libre* o *disponible*; la suma de ambas representa el contenido total. El agua ligada representa sólo 3 a 6% del total, y el resto corresponde a la libre, pero eso no significa que al sacudir una manzana, una lechuga o una chuleta el líquido se desprenda y el alimento se deshidrate, sino que es la fracción líquida que se evapora con el calentamiento, la que se puede congelar, la que disuelve sustancias y forma salmueras y jarabes, la que favorece el crecimiento microbiano y las reacciones químicas y enzimáticas y la que, esencialmente, da origen al término actividad del agua (*Aa*).

La *Aa* es adimensional dado que se calcula como una relación de dos presiones: la del vapor de agua del alimento entre la presión de vapor del agua pura, ambas medidas a la misma temperatura. La presión del vapor de agua de un alimento siempre es menor a la del agua pura, ya que una parte de su líquido está ligado y tiene muy poca movilidad. Su escala va de 0 a 1.0, valores que equivaldrían a un producto con 0% de agua y al agua pura, respectivamente. A excepción de esos dos extremos, no hay una correspondencia lineal, ya que un producto con 80% de humedad no significa que desarrolle una *Aa* de 0.8. Por ejemplo, un queso fresco y una mermelada pueden contener el mismo 65% de agua,

pero poseen una *Aa* distinta: el agua de la mermelada está fuertemente unida a las pectinas de la fruta, no está tan *libre* y por eso su *Aa* es de 0.86, mientras que en el lácteo está más *disponible,* lo que induce una *Aa* de 0.90.

Más que el contenido de agua, la *Aa* se emplea para cuantificar la influencia de este líquido en los cambios químicos, enzimáticos y microbiológicos a los que están sujetos todos los alimentos. Como vimos antes, la función biológica de las células, y en consecuencia de las enzimas y los ácidos nucleicos, depende del agua de que disponen medida como *Aa;* para crecer, las bacterias, las levaduras y los hongos necesitan una *Aa* mínima de 0.90, 0.86 y 0.80, respectivamente. Por otra parte, productos frescos como frutas, verduras, leche, carne, huevo, pescado y quesos tienen una *Aa* mayor de 0.95; mientras que los procesados, como mermeladas y mayonesas, poseen valores inferiores a 0.87, y los productos deshidratados como cereales, galletas, huevo y leche, que sólo contienen 3 a 6% de agua ligada, desarrollan una *Aa* inferior a 0.6.

Aunque influyen otros factores que más adelante estudiaremos, sólo el valor de *Aa* de un alimento determina el tipo de microorganismo o reacción química o enzimática que puede afectarle. Algunos procesos de conservación de alimentos se basan precisamente en el control y la reducción de la *Aa*.

Dureza del agua

Esta expresión alude a la concentración de calcio y magnesio disueltos en el agua, que se mide como carbonato de calcio. Por ejemplo, un agua considerada dura contiene 180 partes por millón (ppm) o mg/kg de dureza, mientras que una suave sólo 60 ppm. El calcio y el magnesio influyen de diversas formas en la cocina y en la industria, por ejemplo: forman carbonatos y sulfatos que precipitan como puntos blancos en los recipientes en los que se hierve el agua; afectan la panificación al inhibir la actividad de las levaduras; modifican el verde de la clorofila de los vegetales cocinados; confieren un sabor alcalino al agua y a las masas de panificación; endurecen los chícharos y otros vegetales con pectinas, en lugar de ablandarlos, etcétera.

Algunas regiones de México sólo disponen de agua dura, de modo que las recetas deben adaptarse a esa circunstancia; además, esa agua no forma espuma con los jabones ni con los detergentes usados para el baño o el lavado de los utensilios de cocina.

Agua potable

Para ser potable, el agua debe cumplir las *4 i*: ser *i*nocua, *i*nodora, *i*nsípida e *i*ncolora. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reconocido que la falta de potabilidad es responsable de diversas enfermedades gastrointestinales, incluidas algunas fatales como el cólera, la hepatitis y la parasitosis, provenientes de bacterias, virus, lombrices intestinales o vermes y protozoarios. En México existe una legislación federal que establece los requerimientos que debe cumplir el agua que se utiliza para consumo humano; por ejemplo, no

permite la presencia de *Escherichia coli*, pero sí una cierta concentración de plomo, arsénico y nitritos, entre otros parámetros regulatorios.

En los últimos años se ha incrementado el consumo de agua embotellada a nivel nacional y mundial, que ha permitido explotar mercadológicamente algunos aspectos del producto. El agua pura es igual en cualquier sitio, aun cuando algunas empresas anuncian que la extraen a 800 m de profundidad, otras que la obtienen de las altas montañas, algunas más que no contienen sodio y otras que se ostentan como *ligeras* o *light*.

Existen sistemas caseros o industriales para su potabilización, adecuados para aguas de mar, pozo, río y lago, con diferentes contaminantes. Por otra parte, cabe indicar que la congelación no elimina a los agentes deletéreos, por lo que consumir hielo fabricado con agua no potable resulta igualmente peligroso.

Con algunas variantes, la filtración es el proceso de purificación más utilizado porque elimina partículas grandes (como arena y trozos de madera), hasta moléculas muy pequeñas, todo en función de la abertura que tenga la malla filtrante. Las membranas para la microfiltración eliminan partículas suspendidas; las de la ultrafiltración separan microorganismos y macromoléculas como proteínas y polisacáridos, pero las de ósmosis inversa lo hacen con sustancias tan pequeñas como las sales disueltas en el agua de mar.

En el proceso normal de ósmosis, el agua se transfiere de un sitio de mayor a otro de menor concentración a través de una membrana semipermeable hasta que alcanza el equilibrio de las concentraciones de soluto y agua el cual depende de la temperatura. Este fenómeno es muy común y ocurre con la transferencia de la humedad de la tierra a las raíces del árbol, pero también en la elaboración de las frutas cristalizadas al expulsar su agua y retener el azúcar del jarabe, y en la recuperación de la turgencia e hidratación de los vegetales marchitos cuando se mantienen sumergidos en agua fría por algunos minutos. Por su parte, la ósmosis inversa recibe este nombre ya que en el equipo se aplica una alta presión de 20 a 50 bar para que el líquido fluya por la membrana y así se compense la presión osmótica propia del agua. Es un proceso que tiene muchas aplicaciones, como la separación de la lactosa del suero de la leche, para clarificar y concentrar en frío jugos de frutas, en las bebidas alcohólicas y en otras industrias.

La filtración se complementa con diversos métodos para asegurar la destrucción de microorganismos patógenos. Una manera muy común de lograr este objetivo es mediante la adición de cloro, ya que es un potente agente bactericida: se emplea el hipoclorito de sodio en una concentración tal que el agua llegue al consumidor con 0.3 a 1.5 ppm de cloro libre. Con la ozonificación se aprovecha el alto poder oxidante del ozono (O_3) que destruye bacterias, hongos y virus; es un gas muy inestable que se convierte en oxígeno (O_2), no se puede transportar y se genera *in situ* en los ozonificadores mediante una descarga eléctrica en el aire. El ozono también se usa para desodorizar y oxigenar el medio ambiente, y de forma natural se sintetiza por la acción de los rayos ultravioleta (UV) del Sol sobre el oxígeno. Otro mecanismo son las lámparas UV, cuya longitud de onda de 254 nanómetros (nm) tiene un efecto fotoquímico oxidativo en el ADN de los microorganismos, pero debido a que su acción es más superficial y poco penetrante, su aplicación tiene algunas limitaciones.

En el ámbito casero y en establecimientos de comida, se utiliza agua previamente tratada, pero antes se le hace circular a través de filtros purificadores fabricados a base de

carbón activado y resinas de intercambio iónico. El primero se elabora al calentar madera o cáscaras de coco o de nuez en ausencia de oxígeno para que no se quemen, con lo que se forma una masa porosa de gran área superficial en la que quedan adsorbidos los olores y sabores desagradables. Esta capacidad de retener gases es tan grande, que el carbón activado se usa en medicamentos contra la flatulencia. Cabe mencionar que el bicarbonato de sodio que se coloca en los refrigeradores realiza la misma función desodorizante, con la ventaja de que se regenera con un ligero calentamiento. Por su parte, las resinas son pequeñas partículas de plástico que intercambian sus iones de sodio y de hidrógeno por los disueltos en el agua con carga positiva, como el calcio y el magnesio de las aguas duras, así como el plomo, cobre, mercurio, zinc y cadmio.

A excepción del cloro, que tiene un efecto residual, para tener agua potable siempre es indispensable evitar una recontaminación a través de utensilios y recipientes sucios.

Hidratos de carbono

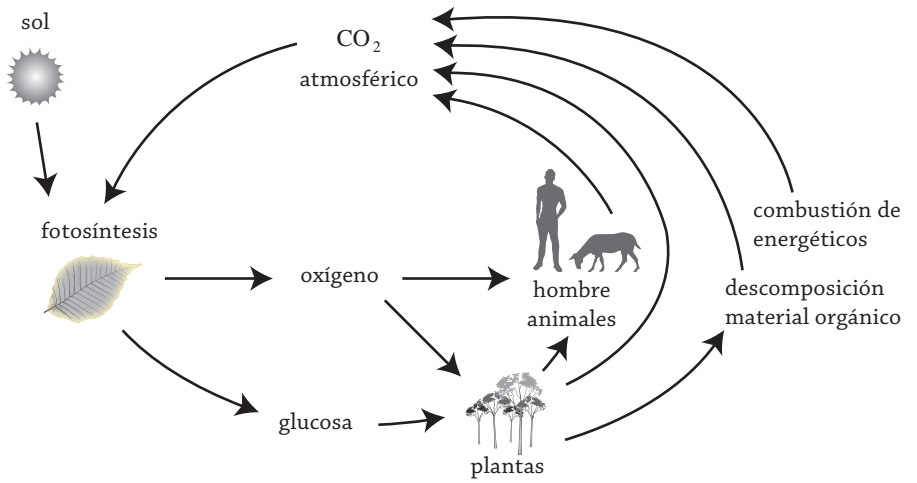
Los hidratos de carbono, también llamados carbohidratos (del inglés *carbohydrates*), se denominaron así con la idea que eran exclusivamente compuestos de carbono y agua con la fórmula genérica $C_X(H_2O)_X$, que indica un mismo número de carbonos y moléculas de agua. Sin embargo, actualmente tal restricción ya no se aplica y esa categoría incluye muchas sustancias diferentes. El origen de todos esos compuestos es la glucosa (del griego *gleukos*, vino dulce) provienente de la fotosíntesis, proceso que sustenta la vida en el planeta, ya que la clorofila de los cloroplastos absorben la energía radiante del Sol y la transforman en energía química que se almacena como almidón, además de que produce el vital oxígeno y transforma el bióxido de carbono en glucosa (figura 1.3).

Clasificación

Los hidratos de carbono son las sustancias orgánicas que más abundan en la naturaleza y los nutrimentos que más consumen humanos y animales. De acuerdo con su estructura química se clasifican en:

- *Monosacáridos*. Componen la estructura más sencilla y la unidad básica: glucosa, fructosa, ribosa y galactosa.
- *Oligosacáridos*. Son resultado de la unión glucosídica de 2 a 20 monosacáridos:
  - *disacáridos: s*acarosa, lactosa y maltosa.
  - *tri, tetra y pentasacáridos:* rafinosa, estaquiosa y verbascosa.
- *Polisacáridos*. Son resultado de la unión de más de 20 monosacáridos:
  - *homopolisacáridos*: integrados por un tipo de monosacárido: almidón, glucógeno y celulosa (sólo glucosas).
  - *hetereropolisácaridos*: formados por más de un tipo de monosacárido, como la hemicelulosa, pectinas y gomas.

Figura 1.3 **Ciclo del bióxido de carbono y la fotosíntesis.**



Fotosíntesis

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O \xrightarrow{\text{energía luminosa}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

bióxido de carbono — glucosa

Es pertinente aclarar que, en química, el término "azúcar" se refiere a una amplia familia de compuestos que incluye los mono y oligosacáridos y que algunos de ellos incluso son amargos. Sin embargo, debido a que el azúcar más común es la sacarosa (azúcar de mesa), se le denomina con ese nombre. Lo mismo ocurre con los términos "sal", "alcohol" y "gas", que en química abarcan un enorme grupo de sustancias: el cloruro de sodio es la sal más común, y el etanol el alcohol más conocido, pero por antonomasia se les llama sal y alcohol, respectivamente. También el bicarbonato de sodio es una sal y el colesterol un alcohol. El gas es un estado físico de la materia, pero comúnmente se le relaciona con el combustible casero.

Los llamados hidratos de carbono *simples* se refieren a los mono y oligosacáridos como la glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y lactosa, mientras que los *complejos* son los polisacáridos, en especial las fibras.

Monosacáridos

Los hidratos de carbono más sencillos son los monosacáridos (del griego, *mono*, único), como la glucosa, la galactosa y la fructosa. De todos, la glucosa es el más abundante, aun cuando no es común encontrarlo en forma libre ya que casi siempre se encuentra integran-

do polisacáridos y glucósidos (la unión de una glucosa con una molécula distinta) como en el caso de los bociogénicos, los cianogénicos, los tioglucosidos y las isoflavonas (todos tratados en otras secciones del libro); tanto la vitamina C como la glucuronolactona y la glucosamina son derivados de la glucosa.

Cabe indicar que la glucosa representa una importante fuente energética y que a través de la sangre se distribuye a todos los músculos y órganos del hombre (la glucosa es el azúcar de la sangre).

Igual que el resto de los monosacáridos, la glucosa es un azúcar reductor porque contiene un grupo aldehído libre (—CHO) que le permite intervenir en las reacciones de Maillard, además de que crea enlaces glucosídicos para formar los oligo, polisacáridos y glucósidos. También se le designa dextrosa, que significa "a la derecha", ya que en un polarímetro gira la luz polarizada en ese sentido. De forma industrial se obtiene mediante la hidrólisis del almidón de maíz con ácido clorhídrico y cuya intensidad de conversión se mide con el equivalente de dextrosa o DE *(dextrose equivalent);* entre más alto sea este índice, mayor será la hidrólisis. La glucosa se emplea en muchas industrias, principalmente en la del dulce, y se usa con diferentes densidades que se miden en grados Brix, de las que la de 45° es la más espesa. También existe en forma deshidratada, como dextrosa anhidra o monohidratada.

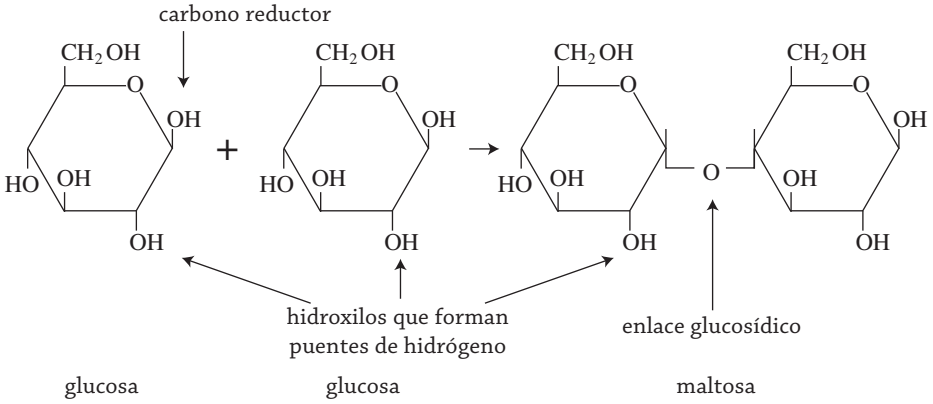
La fructosa se encuentra libre en las frutas y en la miel, y combinada con la glucosa forma la sacarosa; también se le llama levulosa ya que la luz polarizada gira a la izquierda. La ribosa está en los ácidos nucleicos; la galactosa, junto con una molécula de glucosa, integra la lactosa.

Oligosacáridos

De todos los oligosacáridos (del griego *oligos*, pocos), la sacarosa o azúcar de mesa es el más común. Es un disacárido de origen vegetal que resulta de la unión glucosídica de una glucosa con una fructosa a través de sus respectivos grupos aldehído, por lo que es un azúcar no reductor. Al producto de su hidrólisis se le llama azúcar invertido, ya que la mezcla de glucosa y fructosa invierte el giro de la luz polarizada de derecha a izquierda; el azúcar invertido es responsable del alto dulzor de la miel y se produce por la acción de las enzimas invertasas de las abejas. En la industria el azúcar invertido se utiliza en la fabricación de dulces, chiclosos y otros productos de la confitería.

El poder edulcorante de la sacarosa se toma como referencia y se le asigna arbitrariamente un valor de 1 o de 100, si se toma como 100, la glucosa es 50, la lactosa 35 y la fructosa 140; es decir, esta última es 1.4 veces más dulce que la sacarosa a la misma concentración. La sacarosa se emplea para fabricar los tradicionales dulces mexicanos, muchos de los cuales empalagan. Para reducir su dulzura, en la industria se emplea la glucosa, pero ambas generan las mismas calorías. La solubilidad de la sacarosa depende de la temperatura, así, a 0 °C, 25 °C y 100 °C presenta valores de 180, 215 y 490 g/L de agua, respectivamente, pero se reduce con el incremento de acidez; por esta razón, al preparar agua de limón es mejor disolver primero el azúcar en el agua y después añadir la fruta ácida y el hielo.

Figura 1.4 **Enlace glucosídico para formar la maltosa.**



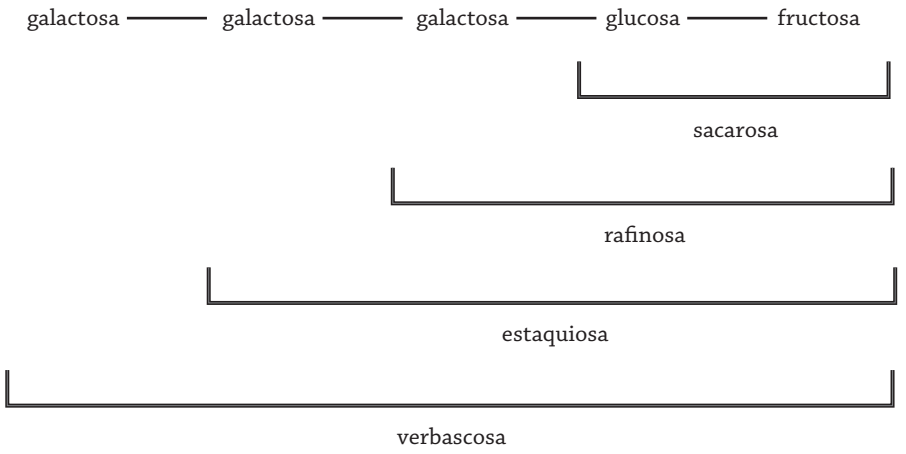
La lactosa es un disacárido exclusivo de las leches, incluida la materna, que está integrado por una molécula de glucosa y otra de galactosa pero mantiene el grupo aldehído de la segunda, por lo que es un azúcar reductor; esto le permite intervenir más fácilmente en las reacciones de Maillard que la sacarosa. También es responsable de la intolerancia a la leche que presentan algunas personas.

La maltosa es el producto de la hidrólisis parcial del almidón y un disacárido reductor constituido por dos glucosas que se sintetiza en la germinación de la malta para producir cerveza. Por su parte, la trehalosa también es un disacárido de dos glucosas pero unidas de manera diferente que la maltosa. La lactulosa (galactosa-fructosa) se emplea como prebiótico.

La rafinosa, la estaquiosa y la verbascosa de 3, 4 y 5 monosacáridos, respectivamente, son responsables de producir gases intestinales o flatulencia, también llamado meteorismo (del griego *meteorismos*, levantarse), por el consumo de soya, frijoles, chícharos, habas y otras leguminosas. Al no ser hidrolizados por las enzimas digestivas del intestino delgado, estos oligosacáridos llegan hasta el intestino grueso, donde la flora microbiana o microbiótica los fermenta para producir bióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2) y metano (CH_4).

Algunas recomendaciones para evitar sus desagradables efectos como los eructos, hinchazón abdominal, etc., son: *a)* Hervir los frijoles en mucha agua por corto tiempo y dejarlos reposar una hora para permitir la extracción o lixiviación de los azúcares hidrosolubles; eliminar el agua y hacer el cocimiento final con agua limpia. *b)* Remojar los frijoles por cinco horas, desechar el líquido y cocer a partir de agua fría. *c)* Reducir estos azúcares con la germinación o la fermentación de la soya (tofu y tempeh), ya que en ambos procesos se consumen al utilizarse como fuente de energía. *d)* Añadir a los alimentos, directamente o en el agua de coción, las hierbas y especias carminativas que relajan el esfínter, tienen un efecto antiespasmódico en los músculos estomacales lisos y permiten la salida de gases sin problema; éstas incluyen albahaca, canela, cilantro, cebolla, comino, epazote, laurel, manzanilla y romero. También se recomienda su ingesta como digestivos al final de la comida en forma de bebidas de anís, menta y yerbabuena. *e)* Utilizar la simeticona (una mezcla de silicio con dimetil polisiloxano) o el carbón activado, que actúa como importante agente antiflatulento.

Figura 1.5 **Estructura de algunos oligosacáridos.**



Polisacáridos

Los polisacáridos (del griego *polis*, muchos) son cadenas lineales o ramificadas formadas por uno o varios tipos de monosacáridos. Llegan a tener varios cientos de eslabones y, de acuerdo con su función biológica, se dividen en (a) *estructurales* y (b) *de reserva energética*. Los primeros dan rigidez al tejido vegetal, conforman la fibra dietética, son resistentes a muchas enzimas y microorganismos e incluyen la celulosa, hemicelulosa, pectinas y gomas; los segundos, proporcionan glucosa para la generación de energía, son atacados por enzimas y microorganismos y solubles en agua como el almidón, el glucógeno y la inulina. Ambos grupos abundan en frutas, verduras, cereales y leguminosas, en tanto que el glucógeno es el principal polisacárido del reino animal, seguido de otros en menor proporción como el sulfato de condroitina y el ácido hialurónico. La estructura y rigidez de las carnes se debe a proteínas y no a polisacáridos y la principal fuente de energía de los animales es la grasa, seguida del glucógeno.

Los polisacáridos más abundantes en la naturaleza son, por mucho, el almidón y la celulosa, ambos homopolisacáridos de cientos de glucosas pero unidas con distintos enlaces glucosídicos, α y β, respectivamente. Esta aparente pequeña diferencia provoca enormes contrastes en sus propiedades físicas y químicas: hace que la celulosa sea muy rígida, indigerible por el humano, resistente a la cocción e insoluble en agua (de no ser así una simple lluvia disolvería las frutas, los árboles y el pasto), mientras que al almidón lo hace hidrosoluble, cocinable y metabolizable por el hombre.

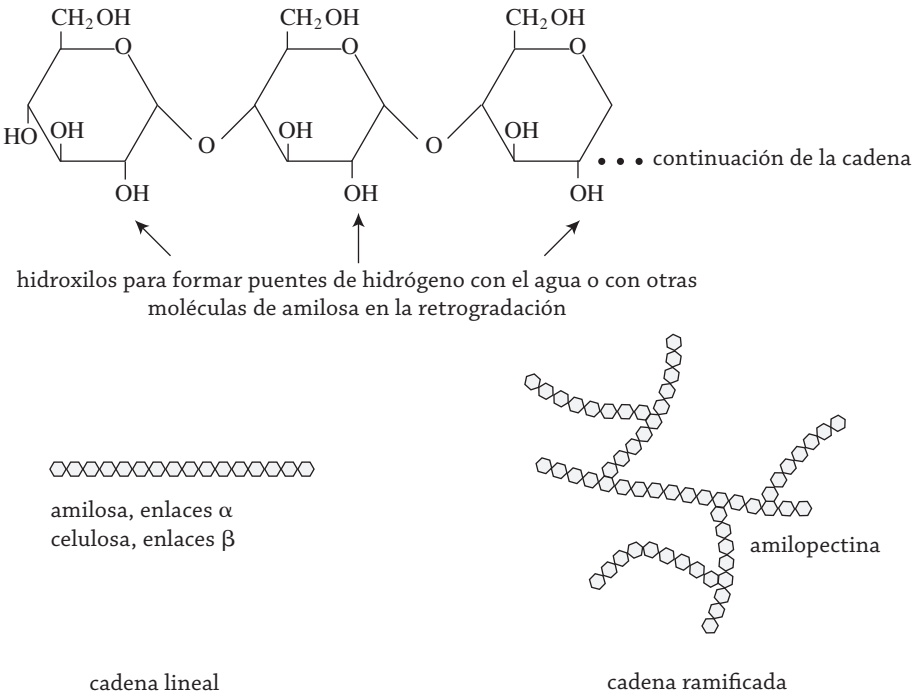
Almidón

El almidón está presente en tubérculos (papa, camote, yuca), en cereales (trigo, maíz, arroz) y en leguminosas (lenteja, garbanzo y haba). Consta de dos fracciones de polisacá-

ridos, *amilosa* y *amilopectina*, que integran partículas microscópicas llamadas gránulos de 10 a 70 μm (micras) con distintas formas y cubiertas de proteínas; en general, la amilosa representa 15 a 30% del almidón. Los gránulos son responsables de la textura arenosa de los plátanos inmaduros y las papas crudas y su alta compactación es un mecanismo eficiente de la naturaleza para almacenar mucha energía en forma de glucosa en un espacio muy reducido.

Las moléculas de la amilosa, polímero lineal con más de 200 glucosas, se alinean paralelamente y se enlazan por puentes de hidrógeno a través de sus hidroxilos para crear estructuras compactas llamadas cristalinas, dentro del gránulo. Contrario a eso, la amilopectina es una molécula ramificada, como un árbol, que impide la formación de estructuras ordenadas de forma paralela; de hecho, crea zonas amorfas, más porosas y es responsable de que el almidón sea pegajoso. Las féculas o harinas, como las de papa, arroz, maíz y trigo, contienen distintas proporciones de amilosa y de amilopectina y como consecuencia su comportamiento en la cocción es diferente; las ricas en amilosa requieren de mayor temperatura para que el agua rompa e hidrate la estructura cristalina y penetre el gránulo, mientras que aquellas con más amilopectina son más abiertas y facilitan la entrada del líquido. Entre mayor sea la ramificación, mayor será la solubilidad en agua y más fácil la cocción del almidón.

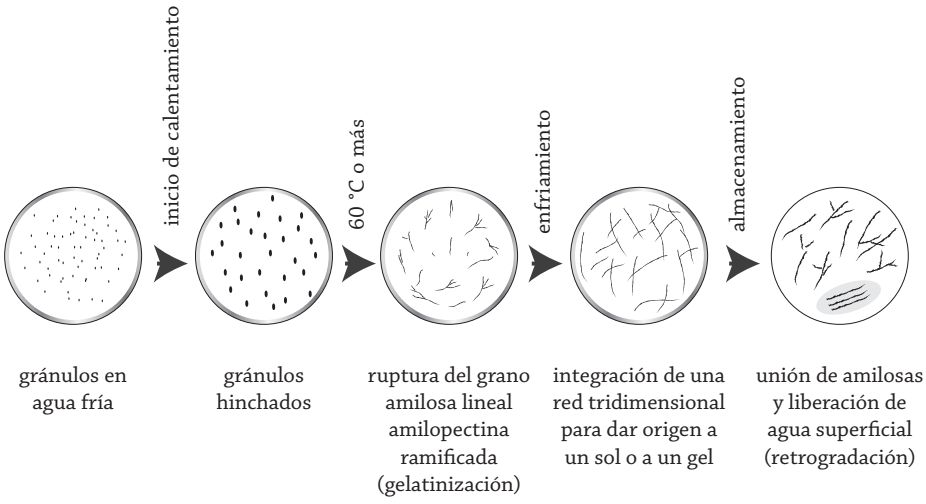
Figura 1.6 **Estructura de la amilosa, amilopectina y celulosa.**



Por la gran compactación del gránulo, el almidón está biológicamente indisponible para el hombre debido a que sus enzimas digestivas no pueden actuar sobre esta estructura tan cerrada; es decir, sale del organismo en la misma forma en que entra. En el caso del plátano, el sistema enzimático de la maduración se encarga de convertir el rígido gránulo en glucosa y suavizar la textura; sin embargo, para la papa y los cereales se requiere de un calentamiento que lo hidrate y rompa, a través de un proceso llamado *gelatinización*.

Para ejemplificar lo anterior, considérese un trozo de papa cruda en agua. A temperatura ambiente, las proteínas que cubren los gránulos se humedecen ligeramente por puentes de hidrógeno, pero a 45 o 50 °C inicia su desnaturalización, lo que favorece el paso del agua al interior. Las zonas amorfas no compactas de amilopectina se hidratan de 55 a 60 °C, seguidas de la amilosa que lo hacen de 70 a 75 °C. Los gránulos se hinchan por la absorción de 30% de agua, aproximadamente, que se rompen al continuar el calentamiento y liberan amilosa y amilopectina que enturbian el líquido de cocción, cuyo enfriamiento produce un *sol* viscoso (vea en el capítulo 2 la sección Textura) como el de las sopas, purés, *gravies* y budines. La gelatinización es una transición del estado ordenado del gránulo a uno desordenado del sol, que puede convertirse en un *gel* al retener hasta 20 veces su peso en agua. Las moléculas de almidón desprendidas en la cocción reducen la tensión superficial del agua y favorecen la formación de grandes burbujas que se derraman del recipiente; la espuma se inhibe con la adición de unas gotas de aceite.

Figura 1.7 **Gránulos de almidón y sus transformaciones.**



La amilosa y la amilopectina del almidón gelatinizado están hidratadas; sin embargo, con el tiempo la primera puede alinearse paralelamente, volver a un estado ordenado semejante al del gránulo original, y así expulsar el agua que tiene retenida. A esta transformación se le denomina *retrogradación* y forma parte del fenómeno conocido como *sinéresis,* que implica un reacomodo molecular y la liberación de pequeñas gotas superficiales, como

sucede con las gelatinas y otros geles. La retrogradación está directamente relacionada con el envejecimiento o endurecimiento del pan y comienza al enfriarse una vez fuera del horno (vea en el capítulo 8 la sección Deterioro del pan); además, contribuye a la pérdida de viscosidad y la precipitación de partículas en *gravies*, cremas y sopas con almidón, con la consecuente liberación de agua.

Existe una amplia gama de almidones que se emplean como aditivos en la producción de alimentos; los ricos en amilopectina se usan para gelificar y los de amilosa para espesar.

En el reino animal el equivalente del almidón es el glucógeno (del griego *glukus*, dulce y *gen*, que genera), cuya estructura es semejante a la amilopectina pero más ramificada, se almacena en el hígado (10% de la masa hepática) y los músculos (1% de la masa muscular) y sirve de reserva energética.

Celulosa

La celulosa es un β-glucano lineal, semejante a la amilosa (figura 1.6); es el polisacárido estructural más importante y junto con la hemicelulosa y las pectinas, responsable de la rigidez de los alimentos de origen vegetal. Para los monogástricos o de un solo estómago como el hombre, el perro y el cerdo, la celulosa funciona como fibra dietética; para las vacas y otros rumiantes con cuatro estómagos, es fuente de glucosa y de energía.

La *lignina* (del latín *lignum*, madera) no es un carbohidrato, pero generalmente está asociado con la celulosa y la hemicelulosa en los tejidos vegetales; es un polímero insoluble en agua a base de compuestos fenólicos como vainillina y varios alcoholes, y forma parte de la fibra insoluble.

Otros polisacáridos

La *hemicelulosa* es un término genérico para varios heteropolisacáridos que sirven de cemento en las células vegetales, es estable a pH ácidos y se solubiliza en agua caliente, sobre todo en condiciones alcalinas.

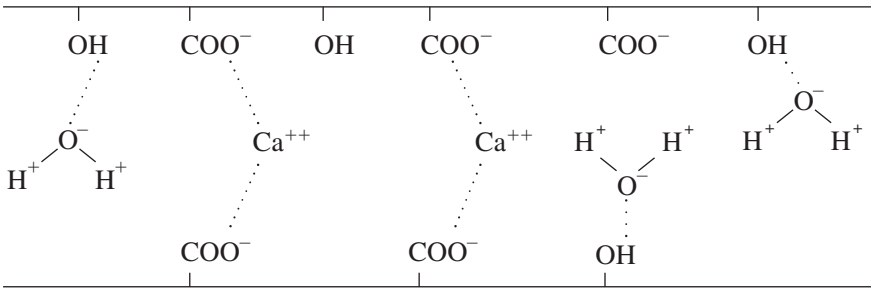
Las *pectinas* son responsables de la textura de manzanas, jitomates, peras, chícharos, duraznos y tejocotes, pero están poco presentes en la fresa o la piña. Son solubles en agua y están constituidas por moléculas de ácido galacturónico que contiene hidroxilos (—OH) y un grupo ácido carboxílico (—COOH) que puede o no estar esterificado con metanol (—CH_3). Con base en esto se dividen en pectinas de bajo metoxilo (pectina-COOH) cuando el ácido está libre, y de alto metoxilo (pectina—$COOCH_3$) cuando el ácido está esterificado. Las frutas inmaduras contienen protopectinas de textura muy rígida, que se convierten en las pectinas suaves e hidratadas por la acción enzimática durante la maduración.

Su función más importante es gelificar, como sucede al hervir las frutas con pectinas en la elaboración de mermeladas o ates (vea en el capítulo 2 la sección Soles y geles). Las de bajo metoxilo lo consiguen por la formación de una red tridimensional construida por la unión electrostática de moléculas de pectina a través del calcio (Ca):

pectina—COO—Ca—OOC—pectina en la que, además, el agua queda atrapada por los puentes de hidrógeno que establecen sus hidroxilos (figura 1.8). Esta misma interacción se observa al hervir chícharos (*Pisum sativum*) en aguas duras con Ca y que en lugar de ablandarse se endurecen, o bien, al añadir Ca a los vegetales maduros y suaves para que resistan su esterilización industrial. Por su parte, las pectinas de alto metoxilo gelifican por la acción conjunta del ácido cítrico y del azúcar que fuerzan a las moléculas de pectina a interactuar entre sí para crear la estructura soporte del gel.

En general, para llevar a cabo la gelificación para producir ates, jaleas y mermeladas, se requiere un mínimo de 1% de pectina, un pH de 2.8 a 3.6 y 60% de azúcar en el producto final.

Figura 1.8 **Unión electrostática de las pectinas de bajo metoxilo con calcio. Los hidroxilos (OH) retienen agua por puentes de hidrógeno.**



Muchos de los polisacáridos actualmente usados como espesantes y gelificantes (vea en el capítulo 7 la sección Espesantes y gelificantes) se designan con el término "goma", aun cuando originalmente éste se aplicaba sólo para los exudados de plantas, como era el caso de la goma arábiga. En general, las gomas son heteropolisacáridos lineales o ramificados de glucosa, galactosa, arabinosa, manosa y de otros monosacáridos. De igual manera, a estos polisacáridos también se les designa con el nombre de "hidrocoloides" por su facilidad de retención de agua y su formación de coloides.

La *inulina* es un polímero de fructosa que sirve de reserva energética al ajo, la cebolla, la achicoria y la alcachofa, pero que en el hombre funciona como fibra dietética; también se le designa como levana porque proviene de la levulosa o fructosa. La *quitina* es un polisacárido lineal a base de aminoazúcares, como la glucosamina, que se encuentra en los hongos y le da rigidez a la concha de los crustáceos, cangrejos, langostas, camarones y muchos insectos. El *sulfato de condroitina* está formado por el ácido glucurónico, un derivado de la galactosamina, y se encuentra en el tejido conectivo, al igual que el *ácido hialurónico*.

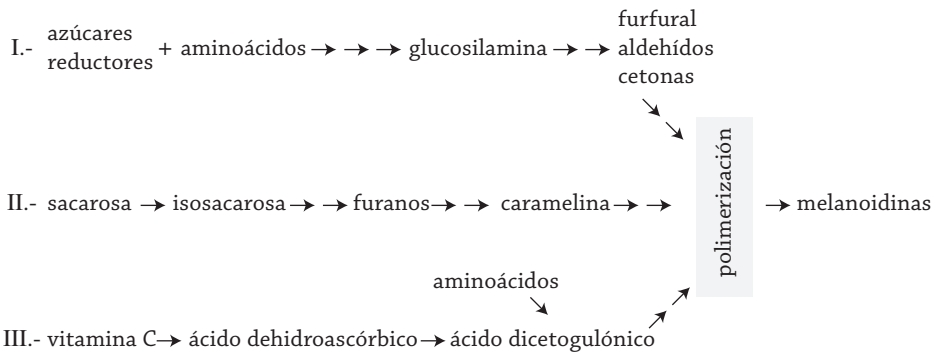
Oscurecimiento no enzimático

El color de las carnes, verduras y frutas frescas se debe a los pigmentos naturales que estudiaremos más adelante. Sin embargo, estos productos pueden adquirir colores diferentes,

sea por modificación de sus pigmentos, o por las reacciones llamadas de oscurecimiento o pardeamiento en las que pueden o no intervenir las enzimas presentes de manera natural en los alimentos.

Las de oscurecimiento no enzimático incluyen la caramelización y la reacción de Maillard, en las que participan azúcares reductores, además de la degradación de la vitamina C (figura 1.9). Las de oscurecimiento enzimático se estudian más adelante en otra sección de este capítulo.

Figura 1.9 **Mecanismos de oscurecimiento no enzimático. I. Reacción de Maillard, a temperatura moderada. II. Caramelización, a temperatura muy elevada. III. Degradación del ácido ascórbico, por exposición al oxígeno y la luz.**



Caramelización

Esta reacción, también conocida como pirólisis, se presenta cuando la sacarosa, fructosa, lactosa o glucosa se someten a temperaturas mayores a 150 °C. Se lleva a cabo al preparar el tradicional caramelo de los postres caseros, calentando la sacarosa a más de 160 °C; el azúcar se convierte en un líquido que se torna amarillo con el incremento de la temperatura y que mediante muchas reacciones químicas complejas produce pigmentos poliméricos oscuros llamados *melanoidinas* (no confundir con melanina o melamina) y sabores amargos. Esta reacción, junto con la de Maillard, es responsable del color amarillo-café oscuro de los productos sometidos a altas temperaturas; por ejemplo natillas, cajeta, caramelos para flan, cortezas de panes horneados, frituras y carnes rostizadas. La caramelización se emplea para la fabricación industrial del caramelo usado como colorante y saborizante (vea en el capítulo 7 la sección Colorantes).

Reacción de Maillard

Por mucho, ésta es la principal reacción química que se presenta al calentar alimentos, tanto en la cocina como en la industria, y se observa al freír, deshidratar, hornear y rostizar. Fue descrita por el francés Louis Maillard en 1913 y comienza por la interacción entre un

azúcar reductor (glucosa, fructosa, lactosa o maltosa) y el grupo amino de los aminoácidos; aun cuando la sacarosa es un azúcar no reductor, las altas temperaturas la rompen o hidrolizan y genera una glucosa y una fructosa que intervienen en la reacción. Los aminoácidos libres participan directamente, pero una vez enlazados como proteína, lo hacen sólo aquellos que tienen dos grupos amino (lisina, arginina, asparagina y glutamina): uno que sirve para formar el enlace peptídico y otro que se mantiene libre para reaccionar con los azúcares. Los productos lácteos, ricos en lactosa y lisina, son especialmente sensibles; la reacción es máxima a pH neutro y con una *Aa* de 0.6 a 0.7, que equivale a un contenido de 30 a 35% de agua y se inhibe a pH ácido, a baja temperatura y con mayor humedad.

A diferencia de la caramelización, que requiere mucha energía, la reacción de Maillard se efectúa en condiciones más moderadas que pueden ir desde la temperatura ambiente hasta la refrigeración; obviamente, entre mayor sea la temperatura, más fácil será que ocurra. Es un mecanismo mucho más complejo que la caramelización y el resultado es la producción de dos grupos de sustancias: *pigmentos* y *aromas y sabores*. Los pigmentos, también llamados melanoidinas, van de un ligero color amarillo (leche deshidratada o condensada) hasta un intenso color café o negro (cajeta); por su parte, el aroma y el sabor provienen de los cientos de aldehídos, cetonas y ácidos, entre otros, que se forman por la ruptura química de muchas sustancias intermedias y que se generan en el horneado del pan, el rostizado de los pollos, el freido de las papas o el tostado del café. De igual forma, y a menor temperatura, se produce el hidroximetilfurfural (HMF) usado como índice de calidad de la miel. Su estudio resulta muy difícil, aun cuando se ha comprobado en el laboratorio que al calentar glucosa con glicina, ácido glutámico, metionina o fenilalanina se generan melanoidinas y aromas que recuerdan alimentos quemados, col, papas fritas, pan recién horneado, chocolate, café y otros. La gastronomía molecular ha aprovechado este principio para producir intensos aromas de pollo al añadir cisteína y glucosa en algunas recetas.

La reacción de Maillard no ocurre en un trozo de carne cubierto con agua, incluso en ebullición; sin embargo, la continua evaporación descubre una parte del alimento, lo expone al aire y en ese sitio tiene lugar esta transformación. Lo mismo ocurre en el horneado del pan, cuya superficie exterior se deshidrata, mientras que el interior mantiene un mayor contenido de humedad inhibiéndose la reacción de Maillard y por eso la miga se mantiene blanca. Por su parte, en alimentos de baja humedad, como la leche en polvo, también se presenta esta reacción aun a temperatura ambiente. Debido al atractivo color y aroma que se produce, en muchas recetas se propician las condiciones para que ocurra, como en la panificación y el rostizado de los pollos, y hasta se adiciona azúcar y leche o se barnizan con mantequilla. Contra estos beneficios sensoriales está la pérdida de lisina, aminoácido indispensable, y en algunos casos hasta la formación de compuestos con cierta toxicidad, como la acrilamida (vea en el capítulo 4 la sección Sustancias sintetizadas por altas temperaturas).

Proteínas

Estos compuestos (del griego *proteios,* primero) en su nombre llevan implícita su enorme importancia, ya que representan aproximadamente 20% del peso del cuerpo humano,

cantidad sólo superada por el agua. Junto con los ácidos nucleicos, las enzimas (proteínas también) son responsables de la actividad de todas las células; y la interacción entre las proteínas y el genoma es tan relevante que dio origen a la *proteómica,* que es el estudio a gran escala de las proteínas.

Son los compuestos más versátiles y cumplen distintas funciones biológicas en el organismo: son las fundamentales enzimas; las muy rígidas, como las *queratinas*, son responsables de la dureza de la piel, cabello y uñas; la *miosina* y la *actina* constituyen los músculos y son responsables de la motilidad de los animales; la *hemoglobina* en la sangre transporta el oxígeno a las células, mientras que la *mioglobina* lo almacena en los músculos; las *inmunoglobulinas* sirven de protección contra infecciones; la *insulina* es la hormona pancreática requerida en el metabolismo de la glucosa, etc. El hombre sintetiza todas estas proteínas a partir de los aminoácidos contenidos en su dieta.

En la naturaleza existen otras proteínas con actividades muy disímbolas como la *nisina,* que es un antibiótico, y las *taumatinas,* que son edulcorantes; pero también hay otras muy dañinas como la *toxina botulínica*, el *veneno del alacrán* y los *priones* causantes de la enfermedad de las vacas locas, así como los *alérgenos* de leguminosas, leche y huevo.

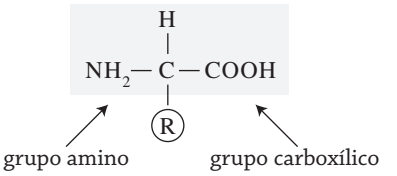
Aminoácidos

A diferencia del almidón y la celulosa, homopolímeros exclusivamente de glucosas, las proteínas son cadenas lineales mucho más complejas integradas por 20 distintos monómeros, o eslabones, los aminoácidos. En la naturaleza existen cientos de ellos, algunos incluso tóxicos como la canavanina y la mimosina, denominados así porque en su molécula existe al menos un grupo amino (—NH_2) y un grupo ácido (—COOH), enlazados por un átomo de carbono; la diferencia entre ellos (los 20) se basa en la naturaleza del grupo ®.

Con base en los requerimientos del organismo humano se dividen en *indispensables* o esenciales, y en *no indispensables* o no esenciales. Los primeros (arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptófano y valina) deben obtenerse de la dieta, ya que el cuerpo no los sintetiza. A los segundos (ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, asparagina, cisteína, glicina, glutamina, prolina, serina y tirosina) el organismo los sintetiza en cantidad suficiente. De acuerdo con sus propiedades químicas se dividen en dos grupos: *hidrófilos:* ácidos aspártico y glutámico, arginina, asparagina, cisteína, glicina, glutamina, histidina, lisina, serina, tirosina y treonina; y en *hidrófobos:* alanina, fenilalanina, isoleucina, leucina, metionina, prolina, triptófano y valina; pero también en *ácidos:* aspártico y glutámico; *básicos*: arginina, histidina y lisina; y los que contienen *azufre:* cisteína y metionina.

En un alimento, la mayoría de los aminoácidos integran proteínas y sólo una pequeña cantidad se encuentra libre. En cualquier forma, y por su naturaleza química, tienen una reactividad que se refleja de distintas formas: participan en la reacción de Maillard; el ácido glutámico contribuye al sabor *umami* de quesos, del jitomate y de otros productos fermentados; la cisteína y la metionina son los responsables de producir fuertes olores azufrados

Figura 1.10 **Fórmulas de algunos aminoácidos. El grupo (R) varía para cada aminoácido; el resto de la molécula permanece igual.**



(R)	aminoácido
—H	glicina
—CH_3	alanina
—CH_2—OH	serina
—CH_2—CH_2—S—CH_3	metionina
—CH_2—COOH	ácido aspártico
—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—NH_3	lisina
—CH_2—CH_2—COOH	ácido glutámico
—CH_2—SH	cisteína
—CH_2—	fenilalanina

durante el calentamiento de coles, ajos, cebollas y huevos; la arginina y la lisina dan origen a la putrescina y cadaverina (llamadas ptomainas o tomaínas) típicas de alimentos en descomposición, etc. Además, algunos dipéptidos (dos aminoácidos) como el aspartamo, constituido por la unión del ácido aspártico y la fenilalanina, son un importante edulcorante sintético, así como el neotame y el alitamo.

Estructuras de las proteínas

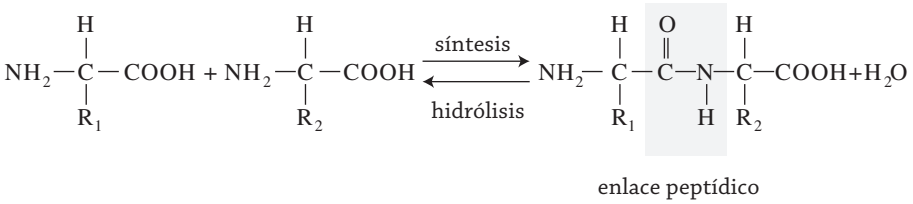
Estos 20 aminoácidos se unen mediante un enlace covalente muy rígido, llamado peptídico, al reaccionar el amino de uno con el ácido de otro y así sucesivamente para formar cadenas; cuando éstas son de pocos aminoácidos se les llama péptidos, equivalentes a oligosacáridos en los hidratos de carbono, y cuando más, por ejemplo de 40 y hasta varios cientos, proteínas o polipéptidos.

No todas las proteínas contienen los 20 aminoácidos, y la secuencia con la que aparecen en la cadena es semejante a las letras con las que se puede formar una palabra. Esta secuencia está perfectamente establecida por el código genético de la célula encargada de

la síntesis de cada proteína; no existe aleatoriedad, como tampoco ocurre con las letras que forman palabras. De otra manera, para una proteína con 100 eslabones el número de combinaciones podría ser de 2 000 000 000 000 000 y este caos no se presenta en la naturaleza.

A la estricta secuencia de aminoácidos se le llama estructura primaria y es la que determina que la proteína sea una enzima benéfica, forme parte del músculo o que actúe como una toxina peligrosa; es decir, dos proteínas pueden contener los mismos aminoácidos y hasta en las mismas proporciones, pero si su secuencia es diferente, sus funciones también lo serán. Esto es tan específico que la síntesis celular de una proteína se detiene por la ausencia de un solo aminoácido; si en este caso se tratara de una hormona, los problemas de salud pueden ser graves, como sucede con las dietas deficientes en aminoácidos indispensables.

Figura 1.11 **Enlace peptídico para formar un dipéptido y su hidrólisis.**



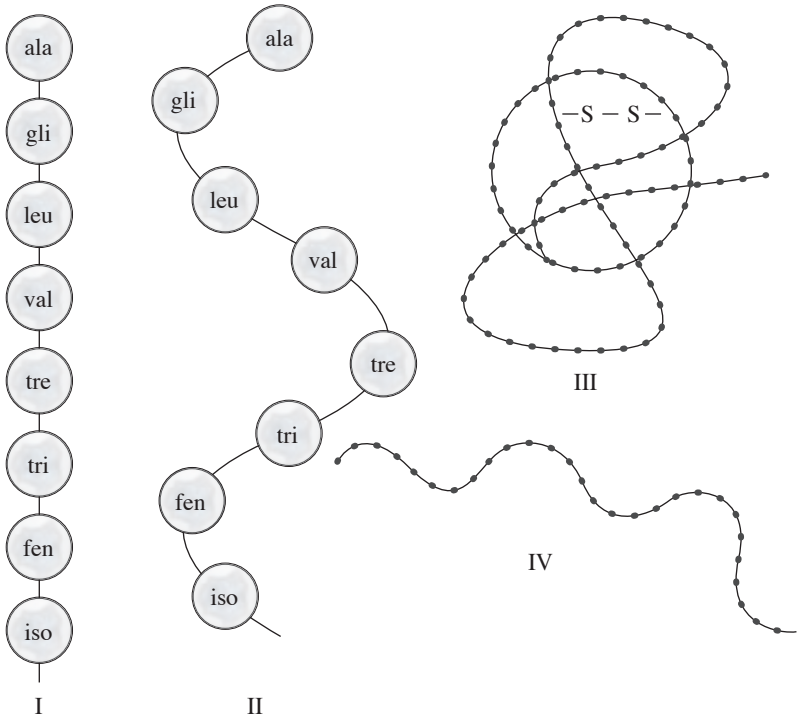
Al formar el enlace peptídico, los grupos ® de los aminoácidos quedan libres y reaccionan con otros ® de la misma proteína; los hidrófilos lo hacen por puentes de hidrógeno, los hidrófobos por fuerzas de van der Walls y los azufrados mediante fuertes enlaces disulfuro (-S-S-). Estas interacciones provocan que la cadena lineal se doble y adquiera conformaciones tridimensionales llamadas estructuras secundaria y terciaria. La figura 1.12 muestra una corta secuencia de aminoácidos, así como la interacción que ocurre entre ellos para formar una hélice, la que a su vez se dobla para adquirir una estructura terciaria globular, como la de la clara de huevo, la hemoglobina y la mayoría de enzimas, cuya conformación es similar a una madeja de estambre y es responsable de su funcionalidad biológica; es decir, la función catalítica de una enzima depende de su estructura globular.

Existen otras formas de estructuras terciarias, como las que se presentan cuando los polipéptidos se unen de manera paralela y se enlazan integrando fibras a base de una triple hélice, como si fuera una cuerda; esta conformación es muy resistente y predomina en el colágeno del tejido conectivo de los animales o en el cabello, la lana y la piel.

Clasificación de las proteínas

Por su composición química, las proteínas pueden ser simples (aquellas integradas exclusivamente de aminoácidos) o bien conjugadas (las que contienen además otros

Figura 1.12 **Estructuras de las proteínas.**



I Estructura primaria (secuencia de sólo ocho aminoácidos)
II Estructura secundaria helicoidal
III Estructura terciaria globular, con un enlace disulfuro (-S-S-) entre dos cisteínas
IV Desnaturalización de la proteína

compuestos) como en el caso de las lipoproteínas del huevo, las fosfoproteínas de la leche, las glucoproteínas como la miraculina y la hemoglobina y mioglobina por su grupo porfirínico con hierro.

De acuerdo con su solubilidad, se clasifican en: *a) Albúminas*, cuyos aminoácidos hidrófilos establecen fácilmente puentes de hidrógeno, se solubilizan en agua y coagulan con el calentamiento, como lo hace la ovoalbúmina del huevo y la lactoalbúmina de la leche. *b) Globulinas*, que se disuelven en soluciones salinas, como la β-lactoglobulina de la leche y las proteínas de las leguminosas. *c) Glutelinas*, de cereales como las gluteninas del trigo que sólo se solubilizan en condiciones extremas de pH, 2 o 12. *d) Prolaminas*, solubles en etanol al 70%, por ejemplo zeína del maíz y las gliadinas del trigo, que se hidratan con el agua pero no se solubilizan. *e)* E*scleroproteínas*, las más insolubles y que sólo se modifican con un fuerte calentamiento, como la elastina, el colágeno de la piel, el hueso y el cartílago y la queratina de los cuernos y pezuñas.

Desnaturalización

Por su naturaleza química, las proteínas son mucho más reactivas que los hidratos de carbono y los lípidos. Su estructura primaria es muy estable, pero no la secundaria ni la terciaria, cuyos enlaces son más débiles y se alteran por efecto de la acidez, las temperaturas altas y bajas, la adición de sales y los esfuerzos mecánicos, como el batido. Se llama desnaturalización a la pérdida de las estructuras secundaria y terciaria de una proteína, sin que exista ruptura del enlace peptídico (llamada hidrólisis) de la estructura primaria (figura 1.12); en general, es una transformación positiva excepto en los casos en que se pierde una función biológica benéfica como sucede con las inmunoglobulinas y algunas enzimas. Los ácidos nucleicos también se desnaturalizan al perder su característica conformación de hélice.

Las proteínas con estructuras secundaria y terciaria muy complejas, como las globulares del huevo y las enzimas, son más sensibles a la desnaturalización con un ligero calentamiento; a diferencia de esta sensibilidad, las caseínas de la leche resisten el hervido sin precipitar.

La desnaturalización es la base de la destrucción de microorganismos, de toxinas y enzimas indeseables en los alimentos. Como efecto benéfico, aumenta la biodisponibilidad de las proteínas de cereales, leguminosas y carnes durante la cocción. De igual forma, la desnaturalización ocurre al hacer espuma con la clara de huevo, al precipitar las caseínas en la fabricación de quesos, al marinar el pescado con jugo de limón y vinagre y al rostizar los pollos, pero no pierden su valor nutrimental sino que éste mejora al incrementar la biodisponibilidad de los aminoácidos.

Propiedades funcionales de las proteínas

Además de su gran importancia nutrimental, las proteínas despliegan algunas propiedades fisicoquímicas que son la base para elaborar diversos alimentos; a estas características se les llama propiedades funcionales, pero no tienen relación con los alimentos funcionales que se describen más adelante. Por ejemplo, en la *viscoelasticidad* del gluten de trigo se soporta la panificación; la *emulsificación* de las proteínas de la soya se aprovecha en la fabricación de embutidos; la *gelificación* de la grenetina es ampliamente conocida, al igual que el *espumado* de la clara de huevo para crear merengues y otras espumas; la *coagulación* de las caseínas da origen a los yogures y quesos; la *hidratación* de varias de ellas se utiliza para conservar la humedad. En general, estas propiedades funcionales se desarrollan de forma óptima con proteínas en estado natural, ya que las desnaturalizadas no las presentan; es decir, una clara de huevo ligeramente calentada ya no espuma tanto como la clara natural.

Enzimas

Las enzimas (del griego *enzyma,* en la levadura), obtienen este nombre debido a que fue en un extracto del microorganismo de la levadura donde se identificaron por primera vez; su naturaleza química es de proteína. Las enzimas son catalizadores biológicos responsables de las miles de reacciones químicas propias de cualquier organismo vivo, desde que nace hasta que muere; por ejemplo, una pera, una bacteria, un elefante o un humano. En general, un catalizador es una sustancia que acelera una reacción química; para demostrar su efectividad tomemos la hidrólisis o ruptura de la estructura primaria de una proteína; para hacerlo sin enzimas se requiere someterla a pH extremos, muy ácidos o muy alcalinos, a 100 °C durante horas; contrario a esto y de manera rutinaria, las enzimas digestivas del intestino delgado lo hacen a 37 °C (temperatura del cuerpo humano), pH casi neutro y un tiempo mínimo.

Considérese la reacción entre dos sustancias: A y B, para dar como resultado C. Con la enzima se puede resumir como sigue:

$$A + B \xrightarrow{\text{enzima}} C + \text{enzima}$$

Es decir, la enzima participa para acelerar la reacción, pero permanece inalterable para seguir actuando hasta que ya no exista A o B, o que se desnaturalice por efecto del pH o de las altas temperaturas.

Aun cuando no se conocían como tales, desde hace siglos se ha aprovechado la funcionalidad de las enzimas. Para ablandar la carne se acostumbraba envolverla en hojas de papaya o añadirle higo o piña; ahora se sabe que la papaína, la ficina y la bromelina (contenidas en cada una de estas tres frutas, respectivamente) son enzimas que rompen las proteínas de los músculos duros; de hecho, los ablandadores de carne comerciales contienen papaína o bromelina como agente activo. Algunas civilizaciones antiguas empleaban trozos del estómago de corderos y becerros para coagular la leche, como un primer paso en la elaboración de quesos; ahora se sabe que la enzima quimosina o renina realiza este proceso.

Su nomenclatura se basa en añadir el sufijo *-asa* al sustrato sobre el que actúan. Las más comunes son las que hidrolizan, llamadas *hidrolasas* (del griego *hydratos*, agua y *lisis*, ruptura) que rompen enlaces químicos con la participación del agua, como lo hacen la lactasa (que actúa sobre la lactosa), las amilasas (sobre el almidón), las proteasas (sobre proteínas) y las lipasas (sobre lípidos); otros grupos son las *oxidasas,* e incluyen a la polifenoloxidasa, responsable del oscurecimiento enzimático, y las *lipoxigenasas,* causantes de la rancidez oxidativa. Entre las proteasas, muchas tienen nombres muy particulares, como la tripsina y quimotripsina del sistema digestivo, la renina, la papaína o la actinidina del kiwi.

Para que tenga actividad, una enzima debe mantener intactas sus estructuras secundaria y terciaria, las cuales le proporcionan una conformación globular; en estas condiciones,

dentro de la molécula se crea un *sitio activo*, lugar y microambiente integrado por ciertos aminoácidos y donde propiamente se lleva a cabo la reacción. Una forma sencilla de explicar su actividad es con el modelo de *la llave y la cerradura*; donde el sitio activo es la cerradura rígida en la que embona el sustrato o llave y que una vez dentro se transforma por acción de los aminoácidos del propio sitio activo. Con base en esto, cada enzima tiene un pH, una *Aa* y una temperatura óptimos y fuera de estas condiciones trabajan a una menor velocidad o se inactivan por la desnaturalización y pérdida del sitio activo; en ciertos casos, las enzimas desactivadas recuperan su función al regresarlas a las condiciones óptimas, como sucede con su atemperamiento después de la refrigeración. Para integrar su sitio activo, algunas enzimas requieren de cofactores, principalmente vitaminas y minerales.

La influencia de la temperatura en la actividad enzimática se mide con el término Q_{10}, definido como una relación de dos velocidades con una diferencia de 10 °C (no confundir con la coenzima Q_{10}):

$$Q_{10} = \frac{\text{Velocidad}_{T+10}}{\text{Velocidad}_{T}},$$

por ejemplo, un Q_{10} =2 para una enzima significa que su velocidad se duplica por cada 10 °C de incremento, siempre y cuando sea dentro del intervalo en el que es estable. Este término también se aplica a las reacciones químicas y al crecimiento microbiano.

Todos los alimentos frescos —vegetales, carnes, pescados— mantienen su actividad enzimática endógena, responsable de los cambios positivos y negativos que les suceden en su almacenamiento; por ejemplo, la maduración de frutas y verduras, el ablandamiento de la carne, el oscurecimiento del aguacate y de la manzana, la rancidez de nueces y la destrucción de la vitamina C de las peras, se llevan a cabo por sus propias enzimas. Por ello es importante conocer las condiciones de acción de cada una para neutralizar sus efectos dañinos o promover su actividad.

La industria las utiliza como indicadores para el control de algunos procesos, como en el caso de la fosfatasa alcalina de la leche, que se desactiva con la pasteurización y cuya ausencia indica la efectividad del tratamiento térmico para la destrucción de patógenos. De igual forma, la α-amilasa se emplea para la pasteurización del huevo y así corroborar la destrucción de la salmonella; o bien la catalasa para comprobar la eficiencia del escaldado de vegetales. Existen varias enzimas comerciales que se emplean como aditivos (vea en el capítulo 7 la sección Enzimas).

Oscurecimiento enzimático

A diferencia del oscurecimiento no enzimático que implica temperaturas moderadas o elevadas, este mecanismo se efectúa incluso en refrigeración, como sucede con la parte comestible de vegetales frescos expuesta al aire, por ejemplo: aguacate, berenjena,

ciruela, champiñón, durazno, manzana, papa y plátano, pero no en productos ácidos como el jitomate o los cítricos. Sin embargo, también está presente en los animales y en el hombre, donde es responsable de la pigmentación de la piel. En esta reacción no se generan aromas ni sabores, sino sólo pigmentos que van de un ligero amarillo a un intenso café y se considera que es un mecanismo de defensa de la planta contra sus depredadores.

Cuando el tejido interno del vegetal se expone al aire, sea por corte, mordedura o golpe, la reacción ocurre, y requiere de tres elementos: una enzima, un sustrato o compuesto sobre el cual actúa la enzima y el oxígeno. Las enzimas son oxidasas, llamadas fenolasas, polifenoloxidasas o tirosinasas, con una actividad óptima a pH 5 a 7 y 30 a 40 °C, que requieren de cobre como cofactor (el metal está de forma natural en el vegetal); los sustratos son diversos compuestos insaturados tipo fenol, como el ácido clorogénico de la manzana y la pera, la tirosina de la papa, las antocianinas de muchas frutas y los flavonoides y taninos del café y el cacao; mientras que el aire suministra el oxígeno.

En el tejido intacto del vegetal, una membrana separa las enzimas y los sustratos y todo está rodeado de un microambiente anaerobio, condiciones inadecuadas para la reacción; sin embargo, al dañarse el tejido la membrana se rompe, facilitando el contacto enzima-sustrato, lo que permite la presencia del oxígeno. Los fenoles se oxidan y forman quinonas que al polimerizarse producen melaninas (no confundir con melanoidina o con melamina), pigmentos con una estructura química muy compleja que contiene hierro. Estas melaninas son semejantes a las del cabello y la piel, donde cumplen una función protectora contra el sol y cuando están mal distribuidas dan origen a las pecas.

Para evitar el oscurecimiento enzimático se utilizan diversos procedimientos. La enzima se inhibe en refrigeración, a pH menor de 5 y en ausencia de cobre, y se destruye con un calentamiento. No siempre es posible aplicar altas temperaturas porque dañan el alimento, como ocurre con el plátano y el aguacate; sin embargo, en la industria del enlatado se aplica el escaldado en manzanas, peras y champiñones, productos que son más resistentes. La adición de jugo de limón (ácidos cítrico y ascórbico) o de vinagre (ácido acético) tiene un doble efecto: por un lado reduce el pH a menos de 5, y por otro secuestra el cobre que requiere la enzima; este principio es parte de la conservación del aguacate en el guacamole. Los sulfitos y el dióxido de azufre, añadidos a las frutas deshidratadas, reaccionan con las quinonas y forman sulfoquinonas incoloras que no participan en las melaninas.

En la cocina, el oxígeno se elimina al sumergir los vegetales crudos (por ejemplo, las papas) en agua con sal, mientras que en la industria ocurre al envasarlos al vacío o envolverlos en películas impermeables al gas, como el cloruro de polivilideno (Sarán), que es más efectivo que el polietileno o el PVC. El contacto con el oxígeno también se elimina al recubrir la superficie del aguacate con mayonesa o algún aderezo, o bien al mantener el hueso.

Esta reacción de oscurecimiento enzimático no siempre es dañina, ya que incluso se propicia en el caso del café, té, pasas, jugo de manzana, sidras y otros, para lograr su color característico.

Lípidos

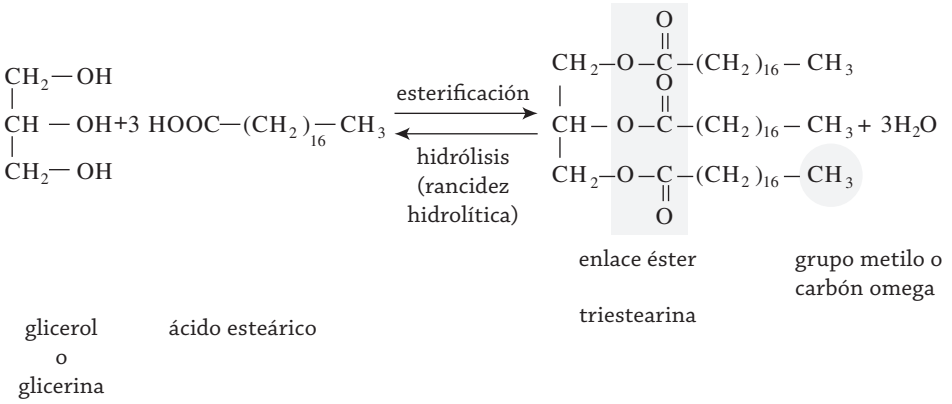
El término lípido (del griego *lipos*, grasa) abarca muchas sustancias lipófilas que carecen de los grupos polares formadores de puentes de hidrógeno con el agua; de hecho, en lugar de solubilizarse rechazan el agua. A partir de esto, son lípidos las grasas y aceites, las vitaminas A, D, E y K, los carotenoides, el colesterol, las ceras y los fosfolípidos.

Grasas y aceites

No hay una clara diferencia entre una grasa y un aceite, aun cuando tradicionalmente se considera que a temperatura ambiente la primera es sólida y el segundo líquido; todo es relativo, ya que la temperatura ambiente puede variar mucho de una zona geográfica a otra. Cada uno tiene un punto de fusión, las grasas se convierten en líquidas al calentarlas y los aceites en sólidos al enfriarlos. Abundan en las oleaginosas y en todos los alimentos de origen animal; a excepción del aguacate, en los vegetales se encuentran en muy baja proporción, suficiente para intervenir como sustrato en reacciones enzimáticas del metabolismo que genera los aromas característicos de verduras y frutas.

Una forma de clasificarlos es en función de su origen: existen los *aceites de pescado*, los *aceites vegetales* (soya, canola, maíz), las *grasas animales* (sebo, manteca de cerdo, huevo), la *grasa de la leche* (mantequilla) y la *grasa vegetal* (cacao). Todos están constituidos por triacilglicéridos, comúnmente llamados triglicéridos, que son moléculas de glicerol cuyos tres hidroxilos (—OH) están unidos (esterificados) a tres ácidos grasos que pueden ser iguales o diferentes.

Figura 1.13 **Formación de triglicéridos y su hidrólisis.**



Cuando uno solo de los hidroxilos está esterificado se forman los monoglicéridos; si son dos, se forman los diglicéridos. Generalmente su presencia es resultado de una hidrólisis parcial de

los triglicéridos e implica la producción de ácidos grasos libres, como sucede en la rancidez hidrolítica. Además, tanto los mono como los diglicéridos se fabrican de forma industrial para emplearse como emulsionantes (vea en el capítulo 7 la sección Emulsionantes).

Ácidos grasos

En la naturaleza existen cientos de ellos —en la leche se han identificado más de 400— pero realmente sólo unos cuantos son importantes. Su estructura es una cadena lineal de 4-22 átomos de carbono, en la que cada carbono tiene la capacidad de retener uno o dos hidrógenos. Se dice que un ácido es *saturado* cuando todos sus carbonos contienen dos hidrógenos (—CH_2—CH_2—), que es su máxima capacidad; por su parte, en los *insaturados* algunos carbonos sólo presentan un hidrógeno (—CH═CH—); es decir, no están saturados de hidrógenos. Para ejemplificarlo, considere una cadena de 18 carbonos (como muestra el siguiente esquema): cuando todos están saturados se forma el ácido esteárico, cuando hay una insaturación entre los carbonos 9 y 10 se produce el ácido oleico, y cuando hay dos o tres insaturaciones, el linoleico y el linolénico, respectivamente.

CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—COOH
esteárico

CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH═CH—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—COOH
9 10 oleico

CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH═CH—CH_2—CH═CH—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—COOH
6 9 linoleico

CH_3—CH_2—CH═CH—CH_2—CH═CH—CH_2—CH═CH—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—COOH
3 6 9 alfa- linolénico

A la unión insaturada (—CH═CH—) también se le llama doble ligadura; cuando sólo existe una, al ácido se designa como monoinsaturado, y cuando son dos o más, poliinsaturado o PUFA (*polyunsaturated fatty acids*).

Los saturados palmítico y esteárico predominan en el cacao, cerdo, coco, leche y palma, mientras que los insaturados oleico, linoleico y linolénico en algodón, canola, cártamo, girasol, maíz, oliva y soya (cuadro 1.1). Cabe mencionar que existen otros ácidos más insaturados, como el eicosapentaenoico (EPA), docosapentaenoico (DPA), y docosahexaenoico (DHA), de 20, 22 y 22 átomos de carbono (del griego *eicosa,* 20, y *docosa*, 22) y con 5, 5 y 6 dobles ligaduras, respectivamente, que se encuentran en peces, sobre todo en los de agua fría y en algunas algas.

Cuadro 1.1 **Composición global de ácidos grasos de grasas y aceites.***

	Butírico	Caproico	Caprílico	Cáprico	Láurico	Mirístico	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Saturado/insaturado	s	s	s	s	s	s	s	s	in	in	in
Número de carbonos	4	6	8	10	12	14	16	18	18	18	18
Algodón							21	2	28	44	
Cacao							25	35	32	3	
Canola							6	2	57	20	9
Cártamo							6	2	12	76	
Coco			6	4	47	19	8	3	6	2	
Girasol							7	5	22	61	
Maíz							6	2	35	52	
Manteca de cerdo							26	14	44	9	
Mantequilla	4	2	1	3	3	14	37	12	13	2	
Palma						3	52	5	18	12	2
Oliva							12	3	75	7	
Soya							10	2	19	62	3

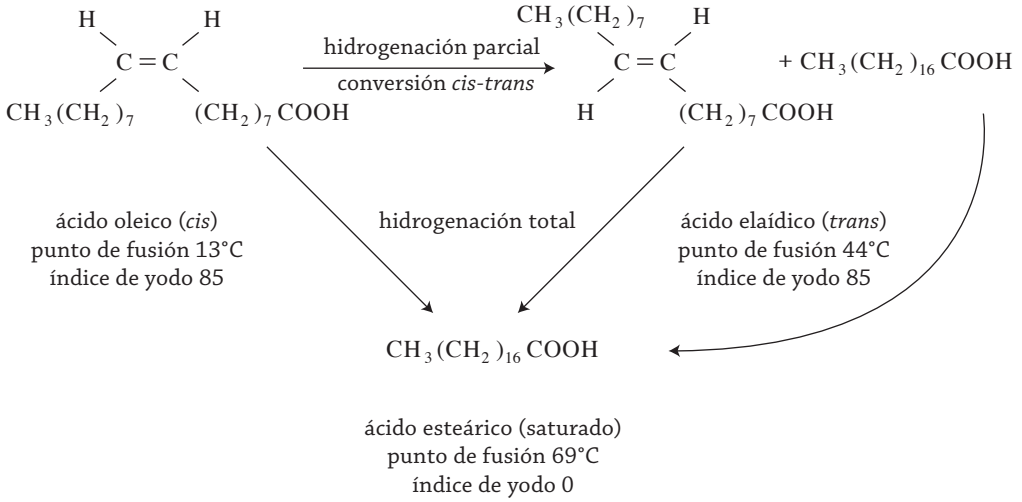
*No suma el 100%.

Para conocer la ubicación de las insaturaciones se emplea el término *omega* (última letra del alfabeto griego), que corresponde al último carbono de la cadena o metilo (CH_3—) y a partir de este grupo se contabilizan los carbonos. Así, el omega-6 es un ácido con una doble ligadura a 6 carbonos del metilo, como el linoleico; el omega-9 está representado por el oleico, y el omega-3 por el alfa-linolénico; este último también existe como gama-linolénico cuyas dobles insaturaciones están en los carbonos 6, 9 y 12, que lo convierten en omega-6. Los ácidos EPA, DPA y DHA son omega-3.

En forma natural, las dobles ligaduras están como *cis* (prefijo griego que significa "de la parte o del lado de acá") y se refiere a que los hidrógenos se localizan en el mismo plano de su representación química; lo contrario son los *trans* (prefijo que significa "del otro lado"), e indica que los hidrógenos están transversalmente opuestos en la insaturación, o en diferentes lados. Los *trans* se producen durante la hidrogenación parcial de aceites, con la peculiaridad de que tienen puntos de fusión mayores que los *cis*, aun con el mismo grado de insaturación medido como índice de yodo (figura 1.14). Esta transformación *cis-trans* también se presenta en otras sustancias con dobles ligaduras al calentarlas; algunos

carotenoides la sufren y modifican su tonalidad, mientras que la piperina, agente activo de la pimienta, pierde pungencia.

Figura 1.14 **Efecto de la hidrogenación en el ácido oleico.**



La insaturación se mide con el índice de yodo; entre mayor sea éste, más insaturación, el aceite es más fluido y es más susceptible a la rancidez oxidativa. Así, un aceite natural de soya tiene un índice de 125 que lo hace muy líquido y enranciable, mientras que su manteca hidrogenada lo tiene de 80 a 90, que es un sólido estable a la oxidación. Los índices de yodo más altos son los que se encuentran en los ácidos EPA, DPA y DHA, y que los convierten en los lípidos más sensibles a la rancidez oxidativa.

Tecnología de grasas y aceites

El aceite que más se consume en el mundo es el de soya, seguido por los de palma, canola, girasol, cacahuate, manteca de cerdo, sebo de res, aceite de pescado y mantequilla; existen otros que se producen en menor escala, como el de semilla de uva, de aguacate y de chía, para usos muy específicos.

En la producción industrial del aceite de soya, los granos se prensan para hacer hojuelas que se someten a una extracción con hexano; por un lado se obtiene una pasta rica en proteínas a partir de la cual se elaboran piensos y harinas para consumo humano (vea en el capítulo 8 la sección Soya), y por otro una mezcla de aceite-disolvente que se destila para recuperar el hexano y el aceite crudo, el cual se somete a un proceso de refinación para eliminar impurezas, y que consiste en: *desgomado*, del que se obtiene como subproducto la lecitina; *neutralización*, que elimina los ácidos grasos libres generados por la rancidez hidrolítica durante la manipulación del grano; *blanqueado*, para reducir los pigmentos

indeseables; y *desodorización*, para extraer olores, muchos de ellos provenientes de la oxidación del aceite en su manipulación, etapa de la que se obtienen los fitosteroles.

La desodorización es un proceso muy drástico a 250 °C y 5 mm Hg de vacío por varios minutos que destruye cualquier proteína, tanto las que causan alergias como las responsables de la transgenicidad de la soya; esto significa que, aunque se usen semillas transgénicas, el aceite resultante no se puede considerar transgénico.

Finalmente al aceite refinado listo para consumo se le adicionan 200 ppm de algún antioxidante como TBHQ, o una mezcla de ellos (vea en el capítulo 7 la sección Antioxidantes) y se envasa en botellas de PET, de vidrio o en cartón. Debido a que su densidad es de 0.92 g/mL (la del agua es de 1 g/mL), un litro de aceite equivale a 920 g, o bien, 1 kg equivale a 1.1 litros.

Los aceites refinados no hierven como el agua, sino que el intenso calentamiento los descompone hasta generar humos y olores desagradables a una temperatura llamada *punto de humeo,* la cual es diferente según su origen; por ejemplo, para el de soya y girasol es de 220 °C; para el de oliva, 215 °C; para la manteca de cerdo, 190 °C; para la mantequilla 130 °C, y para la mantequilla refinada, 180 °C. Es muy importante considerar este parámetro al seleccionar un aceite para el freído. La presencia de tan sólo 1% de ácidos grasos libres reduce el punto de humeo hasta en 70 °C; esto se observa al emplear aceites reusados o en aquellas mantecas que contienen emulsificantes a base de ácidos grasos. Por arriba del punto de humeo se llega al *punto de ignición* en el que los vapores generados se pueden incendiar.

Hidrogenación

La hidrogenación, también llamada endurecimiento, consiste en la adición de hidrógeno a los aceites refinados para saturar parcial o totalmente sus ácidos grasos insaturados. Con esto se reduce el índice de yodo, se incrementa el punto de fusión (de líquido se transforma en sólido) y se mejora la estabilidad a la oxidación; entre mayor sea la hidrogenación, menor será el índice de yodo y más dura la manteca (figura 1.14). Se efectúa en reactores que trabajan entre 120 y 180 °C bajo presión en una atmósfera de hidrógeno y en presencia de níquel como catalizador.

Las mantecas elaboradas con la hidrogenación, también llamadas grasas concretas, tienen una enorme variedad de usos industriales. A las de uso en la panificación se les conoce como *shortenings* porque limitan o acortan (*shorten*) el desarrollo del gluten y no permiten la formación de la estructura rígida del pan blanco, pero sirven para crear la textura granulosa y abierta que requieren los pasteles y panqués. De igual manera, las mantecas se emplean para fabricar sustitutos de manteca de cacao y grasa láctea, cremas batidas, aceites resistentes a la oxidación para el freído industrial y margarinas. Estas últimas fueron desarrolladas a base de sebo en 1869 por el francés Mege Mouries, por solicitud de Napoleón III, para satisfacer la escasez de mantequilla; el término proviene del griego *margon*, que significa perla, debido a la apariencia de los glóbulos de grasa.

Además de saturar algunos ácidos, la hidrogenación parcial provoca la conversión *cis-trans* de otros. Cabe indicar que la microflora del rumen de las vacas efectúa una biohidrogenación, que es la responsable de la pequeña cantidad de *trans* de la grasa láctea.

Actualmente la industria aceitera dispone de la *interesterificación*, tecnología más compleja que, junto con la hidrogenación, permite producir mantecas sin ácidos grasos *trans* y, en consecuencia, todos sus derivados.

Debido a que las grasas hidrogenadas son mezclas de triglicéridos, su punto de fusión es un intervalo más que una temperatura puntual. Sin embargo, existe la tecnología para cerrar este diferencial, como lo requieren los sustitutos de manteca de cacao que deben fundir rápido y muy cercano a la temperatura del cuerpo humano (vea en el capítulo 8 la sección Cacao y chocolate). Por otra parte, la hidrogenación también se emplea para fabricar los polioles usados como aditivos (vea en el capítulo 7 la sección Polioles).

Aceite de oliva

Este aceite, tan cotizado por su sabor y beneficios para la salud, se obtiene de aceitunas maduras de 6 a 8 meses de edad, cuando cambian de verde a púrpura y contienen un máximo de lípidos; en estas condiciones el rendimiento es mayor y desaparece su nota *verde*. El proceso inicia con la molienda para formar una pasta a la que se le extrae el aceite mediante una simple presión o centrifugación continua, ya que se encuentra en muy alta proporción en la pulpa: aproximadamente 33%. Como residuo de la extracción queda el orujo, al que también se le extrae aceite, pero con un método químico semejante al que se usa para la soya.

Su calidad se mide en términos de su acidez, o contenido de ácidos grasos libres, que refleja el daño o rancidez hidrolítica que sufrió durante su elaboración. Así, el de *oliva extra virgen*, que es el primero que se obtiene por presión, no debe exceder 0.8% de acidez, mientras que el de *oliva virgen* presenta menos de 2%; el denominado *de oliva* proviene de los aceites anteriores que no cumplen la especificación y que se someten a una refinación química para llegar a un máximo de 1.5% de acidez.

En cualquier caso, su color se debe a la clorofila y a la luteína, mientras que su aroma es resultado de diversos terpenos; contiene potentes fitoquímicos antioxidantes fenólicos, como el hidroxitirosol y el tirosol (vea en el capítulo 3 la sección Fitoquímicos). Su oleiletanolamida es un endocannabinoide que funciona como una hormona: informa al cerebro de la saciedad, y se le relaciona con el efecto que tiene el aceite de oliva para reducir de peso y controlar los niveles de colesterol y triglicéridos, entre los principales beneficios de la dieta del Mediterráneo.

Otros lípidos

Además de las grasas y aceites, existen otros lípidos que cumplen una función muy importante en los alimentos. Por ejemplo, las *ceras* son ésteres de ácidos grasos con alcoholes de cadena larga que funcionan como repelentes y agentes protectores naturales contra gases, agua e insectos en la superficie de frutas, hojas, tallos, pelos y plumas. En las frutas se encuentran en una concentración de 1-2 mg/cm^2, pero también se aplican comercialmente para extender la vida de muchas al restringir su respiración (vea en el capítulo 8 la sección Conservación de los vegetales frescos).

La fosfatidilcolina o *lecitina* (del griego *lekigos*, yema de huevo), es el principal fosfolípido de los alimentos, se encuentra en nueces y en el huevo y se obtiene de la refinación del aceite de soya. Su estructura consta de dos porciones: una *hidrosoluble* llamada colina que está integrada por el grupo fosfato y una base nitrogenada, y otra *liposoluble* constituida por un ácido graso. Esta dualidad de solubilidades le permite interactuar al mismo tiempo con el agua y los aceites, es decir, funciona como un emulsionante, tal como los detergentes. Por eso la yema de huevo, que es rica en lecitina, se emplea para estabilizar las emulsiones de mayonesas y aderezos.

Por clasificación química los esteroles son alcoholes; de ellos los más importantes son el *colesterol* (vea en el capítulo 3 la sección Colesterol) del reino animal y los *fitosteroles* del vegetal (vea en el capítulo 3 la sección Fitoquímicos).

Rancidez o enranciamiento

Las moléculas de los triglicéridos de las grasas y aceites son químicamente sensibles en dos puntos: en el enlace éster y en la insaturación de sus ácidos grasos. Cuando se ven afectadas en estos sitios, ocurre la rancidez que conlleva la generación de olores desagradables.

Rancidez hidrolítica o lipólisis

La lipólisis (del griego *lipos*, grasa y *lisis*, ruptura) refiere a la hidrólisis o ruptura del enlace éster del triglicérido y la liberación de ácidos grasos por acción de lipasas endógenas y microbianas o por efecto de las altas temperaturas del freído (figura 1.13). Olfativamente sólo es notoria con ácidos grasos de cadena corta (butírico, caproico y caprílico), que son volátiles y de fuerte olor, como los de la leche; a pesar de que la rancidez hidrolítica es indeseable en la leche cruda y en la mantequilla, es responsable del fuerte aroma y sabor de los quesos muy madurados.

Cuando ocurre en aceites vegetales, sus ácidos grasos son de cadena larga (más de 12 carbonos), no son volátiles y por ello no se perciben olfativamente, pero si son insaturados se oxidan más fácilmente que en forma de triglicérido, además de que reducen el punto de humeo del aceite para freír. La refinación de los aceites elimina los ácidos grasos libres formados en la manipulación del grano de soya.

Rancidez oxidativa

Este mecanismo, más común que la rancidez hidrolítica, ocurre por la acción del oxígeno, sea en forma directa o vía enzimática a través de las lipoxigenasas. En ambos casos, los sustratos son las dobles ligaduras de los ácidos grasos insaturados, de los carotenoides y de algunas vitaminas. La oxidación ocurre cuando un átomo cede un electrón a otro

átomo y forma un peróxido o radical libre con una gran reactividad; a su vez, estos radicales libres oxidan otras moléculas para establecer una reacción en cadena y también actúan sobre proteínas, vitamina C y otros compuestos. El resultado de esta intrincada red de transformaciones es la síntesis de aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes y otras sustancias responsables del olor a rancio, además de que se destruyen carotenoides y algunas vitaminas.

Cuando se lleva a cabo por la acción directa del oxígeno, esta reacción puede verse acelerada por varias causas:

1. *El índice de yodo* del aceite. A mayor índice, rancidez más rápida, de tal forma que los EPA, DPA y DHA son los compuestos más sensibles; esto hace muy complicada la adición de estos ácidos para fortificar los alimentos.
2. *Temperatura*. Las altas temperaturas la favorecen, como las del freído.
3. *El cobre y el hierro*. Presente en los utensilios de cocina.
4. *La luz*. Especialmente la ultravioleta.
5. *Aceites oxidados*. Los cuales inducen la oxidación de los aceites frescos cuando se mezclan.

La rancidez se presenta en aceites, cacahuates, cereales, chocolates, cremas, mantequillas, margarinas, mayonesas, nueces, quesos y, en general, en productos ricos en grasas insaturadas. En casos extremos de oxidación, como ocurre con los aceites reusados para freír, se oscurecen e incrementan su viscosidad por la polimerización de los compuestos oxidados. Para evitarla, los alimentos deben almacenarse en sitios templados o fríos, protegidos del sol y exponerlos lo menos posible al aire, aun cuando también se acude a los antioxidantes (vea en el capítulo 7 la sección Antioxidantes); de igual manera se inhibe al reducir el oxígeno con empaques al vacío o con la inyección de nitrógeno o bióxido de carbono.

El grado de oxidación de un aceite se mide con los índices de peróxido o del ácido tiobarbitúrico; mientras que su potencial resistencia a la oxidación se mide con el índice de estabilidad u OSI (*oil stability index*).

Por su parte, la rancidez oxidativa por lipoxigenasas se presenta principalmente en granos y semillas que no han recibido un tratamiento térmico y que mantienen su actividad enzimática endógena. Esta acción genera olores indeseables en la soya, previo a la extracción del aceite, lo que se corrige con su desodorización. Su actividad también se ha relacionado con la reducción de capsaicina, y de picor en los chiles, y también de la intensidad roja del jitomate al actuar sobre el licopeno. Contra estos efectos dañinos, la lipoxigenasa tiene dos acciones positivas:

1. Su actividad en la harina de soya cruda se aprovecha como blanqueador para la harina de trigo, ya que destruye los carotenoides amarillos.
2. Participa activamente en la generación de aromas y sabores de frutas y verduras, usando como sustrato el mínimo contenido de grasas y aceites de los vegetales (vea en el capítulo 2 la sección Olfato).

Vitaminas

Además de los macronutrimentos —agua, carbohidratos, proteínas y lípidos— los alimentos contienen otros compuestos en menor concentración y son designados como micronutrimentos, entre los que destacan las vitaminas y los minerales.

El término "vitamina" fue acuñado por Casimir Funk en 1912, cuando descubrió que la fracción del arroz que curaba el beriberi tenía estructura química de amina; por eso la llamó *vitamine* (forma combinada de las palabras *vital* y *amine*).

Debido a la gran heterogeneidad de sus estructuras químicas, la forma más sencilla de clasificarlas es de acuerdo con su solubilidad en agua; de esta manera tenemos las hidrosolubles y las liposolubles. Su función biológica se estudia en la sección Vitaminas, en el capítulo 3.

Hidrosolubles

Incluye las vitaminas del grupo B: tiamina (B_1), riboflavina (B_2), niacina (llamada vitamina P), ácido pantoténico, piridoxina (B_6), biotina, ácido fólico (llamado vitamina B_9) y cobalamina (B_{12}), además del ácido ascórbico (C); a excepción de la B_{12}, las demás vitaminas se sintetizan y así se ponen a la venta. Están presentes en frutas y verduras frescas, pero se pueden perder por diversos mecanismos, y dado que muchas se concentran justo por debajo de la piel, como en manzanas, peras y zanahorias, al pelarlas profundamente éstas se eliminan. Por ser hidrosolubles se extraen en el agua de remojo o de cocción, la cual generalmente se desecha; en otras una exposición prolongada a altas temperaturas y a los rayos UV solares induce su destrucción. Por lo anterior, siempre que sea posible ingiera los vegetales enteros y crudos; si la cocción es necesaria, debe hacerse por poco tiempo.

De todas las vitaminas, la C y la B_2 son las más inestables y reactivas. La primera tiene una estructura de azúcar-ácido que se oxida con los mismos factores que influyen en la rancidez oxidativa, es decir, altas temperaturas, cobre, hierro y rayos UV y la reacción es más rápida a pH neutro o alcalino. El resultado es la pérdida de actividad vitamínica y la formación de melanoidinas amarillo-café claro que se observan en la pasteurización de los jugos de cítricos o al exponer el tejido de las peras al aire; un jugo recién hecho la pierde en función de su exposición al sol, de la temperatura y el tiempo transcurrido (figura 1.9). La vitamina C es tan sensible que se usa como parámetro industrial para medir la retención de las otras: si la C resiste un tratamiento térmico, las demás también.

La riboflavina es muy sensible a los rayos solares, se convierte en un potente oxidante que a su vez reacciona con la metionina y produce metional de olor muy característico, como ocurre con la leche embotellada en vidrio y expuesta al sol. Por esta razón se utilizan empaques oscuros en sus preparaciones farmacéuticas.

Liposolubles

Se incluye a la A, D, E y K, encontradas principalmente en alimentos de origen animal: hígado, vísceras, leche, mantequilla, pescado y yema de huevo. Por su insaturación, la A y E están sujetas a la rancidez oxidativa y a la transformación *trans-cis*, con lo cual pierden su actividad biológica.

Otros componentes

Además de los macro y micronutrimentos descritos, los alimentos contienen otros compuestos en muy baja concentración pero potencialmente importantes, por ejemplo los responsables de sus propiedades sensoriales: color, sabor y aroma. Asimismo, presentan en forma natural ciertos agentes bioactivos, algunos con efectos benéficos como los fitoquímicos, y otros con potencial tóxico. Estudiaremos ambos grupos en los siguientes capítulos.

El verde de los vegetales se debe a la clorofila (del griego *chloros*, verde, y *phullon*, hoja). La clorofila sufre modificaciones en la cocción. En fresco, los tejidos de los espárragos y de otras verduras contienen pequeñas burbujas de aire que bloquean y opacan el pigmento, que al calentarse ligeramente se desprenden, liberan la clorofila y la hacen más vivaz y atractiva.

2

Percepción sensorial de los alimentos

Para que un alimento sea deleitable debe poseer ciertas características sensoriales de color, sabor, aroma y textura; y en muchos casos hasta el sonido que producen al consumirlos es importante, como ocurre con las papas fritas y otras botanas. En este complejo proceso participan los cinco sentidos básicos: vista, gusto, olfato, oído y tacto, aunque también influyen otras percepciones llamadas secundarias. Todos esos estímulos sensoriales llegan al cerebro, donde éste los interpreta y provoca reacciones de aceptación o rechazo.

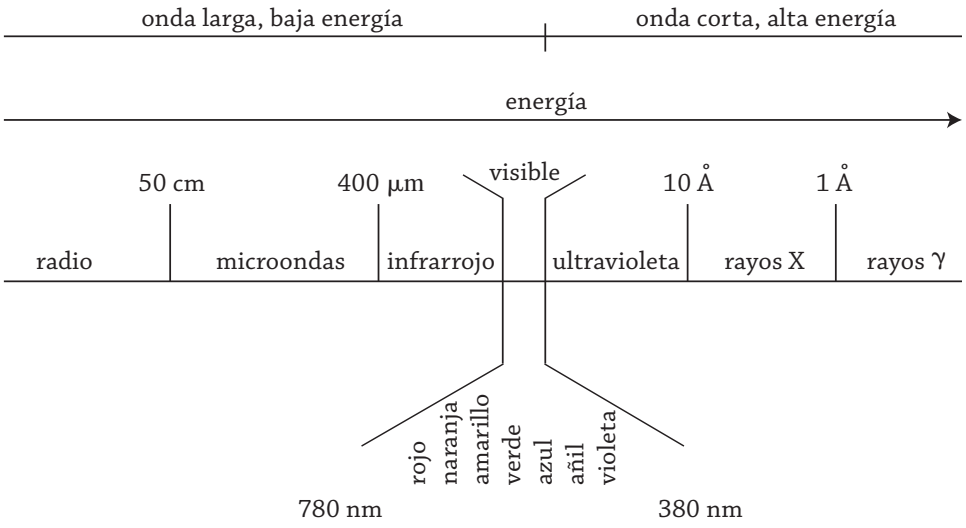
Para el aroma, el sabor y las percepciones secundarias intervienen sustancias o estímulos químicos que actúan en determinados centros activos de la nariz y la boca; mientras que para el color, la textura y el sonido, participan estímulos físicos.

Color

La retina del ojo genera impulsos eléctricos que llegan al cerebro a través del nervio óptico. Funciona como una cámara fotográfica que percibe miles de matices de acuerdo con la luz de una longitud de onda reflejada por un objeto, pero también identifica su forma y la distancia a la que se encuentra.

En el espectro electromagnético, la luz visible se encuentra entre las longitudes de 380 y 780 nm y está formada por siete diferentes radiaciones o colores (figura 2.1). Así, una manzana es roja porque refleja la luz roja y absorbe las demás radiaciones; la leche blanca refleja todo, y el zapote negro absorbe todas las radiaciones. Este principio físico se comprueba con los recipientes oscuros de cocina, que al absorber más energía se calientan más fácilmente que los blancos, como el aluminio, o los transparentes, de vidrio; también en la ropa negra, que es por lo general 4 a 5 °C más caliente que la blanca por retener hasta 2.5 veces más la energía solar, se presenta este hecho.

Figura 2.1 **Espectro electromagnético (cm: centímetros; μm: micra; nm: nanómetro; Å: Amstrong).**



La influencia de este parámetro en la aceptación de los alimentos se ha comprobado en muchos estudios de laboratorio: la gente rechaza los productos a los que intencionalmente se les modifica el color, aun cuando todas las demás propiedades sensoriales (aroma, sabor y textura) permanezcan inalteradas. En estas condiciones, la percepción visual provoca una mala opinión del alimento antes de haberlo degustado e incluso después de probarlo.

El color de un alimento depende de cuatro factores:

1. El contenido de sus pigmentos naturales; los vegetales incluyen las clorofilas, carotenoides, betalainas y flavonoides, y los de origen animal la hemoglobina y mioglobina.

2. El contenido de sus pigmentos naturales transformados durante el procesamiento, almacenamiento y preparación, como ocurre con la clorofila que pasa de verde a café; los carotenoides rojos que se oxidan y se convierten en anaranjados; las antocianinas que se alteran con los cambios de pH, así como la mioglobina que se modifica con el aire.
3. La presencia de los colorantes usados como aditivos, aun cuando cambian de color con la acidez, metales y otros compuestos presentes en los alimentos (vea en el capítulo 7 la sección Colorantes).
4. Las reacciones de oscurecimiento enzimático y no enzimático antes descritas.

Clorofila

El verde de los vegetales se debe a la clorofila (del griego *chloros*, verde, y *phullon*, hoja) cuya estructura química es parecida a la hemoglobina en su grupo porfirínico de tetrapirrol; sin embargo, la primera contiene un alcohol llamado fitol y un ión magnesio (Mg^{++}), y la segunda una proteína y un ión hierro (Fe). La clorofila, responsable de la fotosíntesis, no es hidrosoluble (si lo fuera la lluvia decoloraría el pasto verde o las espinacas al remojarse en agua), pero se solubiliza en etanol y en aceite, incluso el de freír que se pigmenta con los vegetales verdes. Los carotenoides rojo-naranja de las verduras y frutas sólo se presentan cuando la clorofila desaparece con la maduración o por falta de luz solar; esto se observa con los chiles, que cambian de verde a rojo al madurar, o bien en otoño, cuando las hojas se tornan amarillas y anaranjadas.

La clorofila sufre modificaciones en la cocción. En fresco, los tejidos de los espárragos y de otras verduras contienen pequeñas burbujas de aire que bloquean y opacan el pigmento, que al calentarse ligeramente se desprenden, liberan la clorofila y la hacen más vivaz y atractiva. Con el incremento de la temperatura, por ejemplo a 65 °C, su molécula se altera en dos sitios: por un lado puede perder el fitol a pH muy ácido o alcalino, y por otro ocurre la *feofitinización,* más común que la primera, donde el Mg^{++} se sustituye por dos hidrógenos H^{+} para dar origen a las *feofitinas* oliva-café de los vegetales cocidos. Este hidrógeno proviene de tres fuentes:

1. De los ácidos de la propia verdura que se liberan en el calentamiento.
2. Del jugo de limón (ácido cítrico) y del vinagre (ácido acético) añadidos al agua de cocción.
3. De productos ácidos, como el jitomate, cuando se cuecen junto con vegetales verdes.

Para evitar la feofitinización se neutralizan los ácidos con un álcali débil, como el bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$). Sin embargo, si se añade en exceso ocurre la solubilización de la hemicelulosa y de las pectinas que cementan las células vegetales, lo que propicia la pérdida de la textura y turgencia; el producto pasa de crujiente a flácido y se destruye la vitamina C, pero el verde de la clorofila se conserva.

Con o sin bicarbonato, la cocción debe efectuarse en el menor tiempo posible y con ese fin es recomendable añadir los vegetales troceados (por ejemplo nopales, ejotes, etc.)

a una olla con abundante agua en ebullición y mantenerla destapada. Esta práctica tiene varios fines:

a) Las piezas pequeñas presentan más área de contacto con el agua y la cocción se acelera.
b) El exceso de líquido evita el posible enfriamiento causado por la adición de los vegetales y se mantiene en ebullición.
c) Mucha agua diluye los ácidos propios del vegetal.
d) Con la olla destapada los ácidos se volatilizan junto con el vapor.
e) Debido a que el contacto agua-vegetal es corto, se reduce considerablemente la lixiviación y pérdida de micronutrimentos, vitaminas hidrosolubles y minerales.

Es importante que una vez cocidos, los vegetales se enfríen de inmediato para detener una sobrecocción y feofitinización por acumulación de calor en el tejido.

La feofitinización también ocurre al preparar una ensalada fresca con aderezos ácidos a base de limón, vinagre o yogur. Es claro que mientras haya más tiempo de contacto, habrá más posibilidad de formar feofitinas y por eso los aderezos se añaden justo al momento del consumo; si por necesidad se deben adicionar con antelación, se puede proteger previamente la superficie de los vegetales con un poco de aceite.

El cocimiento de las verduras en aguas duras toma más tiempo debido a que el calcio interacciona con las pectinas y endurece el tejido en lugar de ablandarse; con más minutos de cocción se incrementan los ácidos formados, al igual que las feofitinas y la lixiviación.

Por otra parte, el Mg^{++} también puede ser sustituido por cobre (Cu) y formar un derivado de la clorofila verde brillante y más estable. Para producirlo se realiza la cocción en recipientes de este metal; de hecho, hace algunos años era costumbre cocinar los vegetales con una moneda de cobre dentro del recipiente; la adición de una sal de este metal está prohibida, debido a que en exceso es tóxica. De igual manera, los recipientes de aluminio forman hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$ que neutraliza los ácidos y estabiliza el color.

Carotenoides

En la naturaleza existen más de 750 carotenoides; todos son moléculas con dobles ligaduras (como los ácidos grasos insaturados) derivadas de los terpenos y que se han dividido en *carotenos* y *xantofilas* (estas últimas corresponden a la forma oxigenada de los primeros). Son liposolubles y su nombre deriva de la zanahoria, *Daucus carota,* de la que se aisló por primera vez el *β-caroteno,* que se encuentra en aproximadamente 1 200 μg/g. Los carotenoides están presentes en duraznos, jitomates, maíz, naranjas y otras verduras y frutas, aunque en ocasiones sólo se evidencian al desaparecer la clorofila por maduración o por falta de luz solar en invierno. Con el calentamiento, su tonalidad cambia por una transformación *cis-trans* de sus dobles ligaduras (enlaces), y en casos extremos se oxidan y decoloran, como sucede al blanquear la harina de trigo. Esta misma insaturación les confiere una capacidad antioxidante en el organismo humano y los convierte en importantes fitoquímicos.

Los carotenoides también son importantes por ser precursores de la vitamina A, ya que en el reino vegetal no existe como tal; en este sentido, el β-caroteno es el más activo y en el hígado se transforma en la vitamina. Sin embargo, un consumo excesivo del pigmento, por ejemplo de muchas zanahorias, provoca una coloración amarilla de la piel debido a su acumulación en el tejido adiposo, que se elimina al dejar de ingerirlas.

Otros carotenoides incluyen al *licopeno* rojo del jitomate, la *bixina* roja de la capa cerosa de las semillas del achiote o anato (*Bixia orellana*), la *zeaxantina* amarilla del maíz, la *astaxantina* rosada de los crustáceos, la *crocetina* del azafrán para pigmentar la paella y la *luteína* amarilla de la flor de muerto (*Tagetes erecta*), cempasúchil o cempoalxochitl (*cempoalli* 20, *xochitl,* flor) con que se alimenta a los pollos para pigmentar la yema del huevo, la piel y las patas.

Betalaínas

A diferencia de la clorofila y los carotenoides, que son liposolubles, las betalaínas son hidrosolubles, característica que se comprueba al hervir betabeles y observar la coloración del agua; la intensidad del color aumenta al incrementar la temperatura y el tiempo de cocción y al reducir el tamaño del vegetal, porque con ello se favorece un mayor contacto con el líquido y la extracción del pigmento. Las betalaínas se dividen en *betacianinas* y *betaxantinas*, se encuentran en diversas frutas como la tuna ácida roja o xoconostle, pitaya, garambullo, jiotilla y amaranto; son sensibles a los cambios de pH, a las altas temperaturas y a la luz solar.

Flavonoides

El nombre deriva del latín *flavus*, que significa amarillo, y comprende un amplio grupo de pigmentos fenólicos que incluye antocianinas, antoxantinas, isoflavonas y taninos, algunos considerados fitoquímicos y designados como *bioflavonoides*.

Las *antocianinas* (del griego *anthos*, flor, y *kyanos*, azul), como la delfinidina, pelargonidina, peonidina y quercetina, son hidrosolubles y responsables del rojo, anaranjado, azul y púrpura de manzanas, fresas, uvas, ciruelas, cebollas moradas, ajos y flores. Tienen la particularidad de cambiar de color con el pH, y por tanto, con la maduración; a pH < 4.2 son rojas, y a pH mayores, azules y algunas se vuelven incoloras. Las fresas con pH 3.5 se tornan moradas al añadir yogur o un producto menos ácido. La cocción en agua alcalina, sea por adición de bicarbonato de sodio o por el calcio de las aguas duras, vuelve azul la col roja; además el pH puede incrementarse ligeramente con el calentamiento, ya que se volatilizan los ácidos y con ello se propician condiciones más neutras; para mantenerla roja se recomienda cocer la col con un poco de vinagre o jugo de limón. Los polvos para hornear, al ser alcalinos, modifican el color de las frutas en los productos de la panificación. El hierro y el estaño de la hojalata de los productos enlatados forman complejos con las antocia-

ninas y alteran su coloración, igual que el cobre de los utensilios de cocina; los acidulantes adicionados para estabilizar los pigmentos en estas condiciones tienen un doble efecto, ya que reducen el pH pero también secuestran los metales.

Las *antoxantinas* o *proantocianidinas* son incoloras y astringentes, se encuentran en membrillos y otras frutas inmaduras, pero se convierten en la correspondiente antocianina rosa-roja con el calor, la acidez y el oxígeno; este cambio se presenta en las peras enlatadas que se tornan rosas y pierden astringencia. Algunas del arroz son blancas, pero se vuelven amarillas a pH alcalino; por esa razón es recomendable adicionarle jugo de limón para conservar la blancura del cereal cocido.

Por su parte, las *isoflavonas* incluyen la genisteína, la daidzeína y la gliciteína de la soya y la alfalfa, cuya estructura química las ubica en la categoría de fitoestrógenos, además de que actúan como antioxidantes naturales. Su acción como estrógeno es limitada, aunque si los animales las consumen en exceso presentan problemas en la reproducción.

Los taninos se encuentran en la uva, el membrillo, la pera, el té negro, el vino tinto joven y el plátano inmaduro, de color levemente amarillo hasta café; son astringentes y actúan como antioxidantes fitoquímicos. Se considera que su función biológica es repeler depredadores cuando la semilla de la fruta está inmadura; desaparecen con la maduración cuando la fruta se vuelve más apetecible para los animales que la consumen, con lo que sus semillas se esparcen y se propicia la reproducción de la planta.

Además de estos flavonoides, también existe la naringina, que es la flavona responsable del sabor amargo de la toronja y la naranja, y la rutina que es un flavonol de los espárragos y otras verduras.

Hemoglobina y mioglobina

Son los pigmentos del reino animal. Ambas proteínas conjugadas con un grupo porfirínico semejante al de la clorofila, pero con hierro al centro en lugar del magnesio. La hemoglobina (del griego *haima*, sangre) representa 15 a 16% de la sangre y en su estructura terciaria embona el oxígeno y así lo transporta y distribuye de los pulmones a todo el organismo. En esta etapa es roja, pero al momento de ceder el gas a la mioglobina muscular cambia su estructura terciaria y se vuelve púrpura. Su principal uso en la industria es en la elaboración de embutidos tipo moronga mediante su coagulación térmica. La carne de un animal bien desangrado no contiene hemoglobina.

Por su parte, la mioglobina (del griego *myos*, músculo) es el pigmento rojo del músculo y actúa como almacén temporal del oxígeno que provee la hemoglobina al animal vivo; una vez captado el oxígeno, la mioglobina lo suministra a las células para que lleven a cabo sus funciones. Esta actividad biológica de receptor-donador del gas la efectúa gracias a la versatilidad de su ión hierro. Extrapolando esta condición, una vez como carne la mioglobina tiene diferentes estados de oxidación de su ión Fe que dependen de las condiciones de almacenamiento: es púrpura cuando su hierro está en forma reducida o ferrosa (Fe^{+2}) sin oxígeno, mientras que es roja brillante cuando está oxigenada y retiene el gas, y es llamada *oximioglobina*; cuando el Fe está oxidado en estado férrico (Fe^{+3}) se

produce la *metamioglobina* café. En el capítulo 8 (sección carnes) veremos con más detalle este pigmento y su aplicación en carnes.

Gusto

En sentido estricto, el gusto es la percepción sensorial que ocurre en las papilas gustativas de la lengua y que se confunde con el *sabor*. Este último es un fenómeno multisensorial mucho más complejo que implica 70% de olfato, 20% de gusto y 10% de otras percepciones; sin embargo, es común referirse al sabor como sinónimo de gusto. La interacción entre el gusto y el olfato es tan estrecha que el término *flavor* se ha introducido al argot técnico y se define como "el agente que estimula los receptores del gusto y el olfato, o nervios especializados, de modo que produce una respuesta psicológica integrada".

Las papilas gustativas son proteínas que responden a los cinco sabores primarios:

1. *Salado*, causado por los iones sodio de sales como cloruros, nitritos y bicarbonatos.
2. *Dulce*, por azúcares, sacarosa, glucosa y fructosa, y por la glicerina y los edulcorantes sintéticos.
3. *Ácido* o *agrio*, por iones hidrógeno de ácidos como el acético del vinagre, el cítrico y el málico de las frutas o el láctico de los lácteos fermentados.
4. *Amargo,* por los terpenos de las frutas y la cafeína, teína y otros alcaloides.
5. *Umami,* por el glutamato monosódico y los ribonucleótidos inosinato y guanilato.

El *umami,* palabra de origen japonés que significa "gustoso" o "aromático", se incluyó en la lista hace pocas décadas y se debe a los potenciadores del sabor, tanto los que se agregan como aditivos, como los que están presentes en forma natural en quesos madurados, bacalao, camarón seco, algas marinas, anchoas y jitomate; también se producen por el calentamiento de alimentos ricos en ácido glutámico.

Hace tiempo se pensaba que las papilas eran específicas para cada sabor y que estaban en zonas concretas de la lengua: las de los sabores dulces en la punta, las del sabor amargo en la parte posterior, etc.; actualmente se considera que están distribuidas de manera aleatoria. Percibir los sabores implica la interacción química de la molécula activa con el receptor a través de un mecanismo poco entendido y que propicia situaciones como las siguientes: la ingesta de *miraculina* (una glucoproteína insípida) provoca que ácidos como el del jugo de limón, se perciban dulces durante varias horas; por su parte, la *naringina* es responsable del sabor amargo de algunos cítricos, pero su ligera hidrogenación produce la neohesperidina, con alto poder edulcorante.

Los sabores deben estar disueltos en el agua del alimento o disolverse en la saliva para que las papilas los capten; por ello la reducción de la salivación debida a medicamentos o a la vejez, así como los productos ricos en grasa, inhiben la percepción. Esto se refleja, por ejemplo, en que la vainilla hidrosoluble de un helado se perciba antes que el chocolate liposoluble.

De los cinco sabores primarios, el *dulce* es el más aceptado por el hombre y los animales, porque se relaciona con la energía que generan los azúcares; el *amargo* genera rechazo y se identifica con sustancias nocivas como los alcaloides solanina, estricnina, nicotina y cafeína de diversas plantas, donde actúan como defensa contra sus depredadores naturales; el sabor *salado* se busca para reponer electrolitos, como sodio y potasio, los cuales se pierden al sudar; el *umami* asegura el consumo de aminoácidos para la síntesis de proteínas. Los hombres son más sensibles al sabor amargo, y las mujeres al dulce y salado. Comparativamente con otros países, en México se prefieren los alimentos muy dulces y salados, lo que incide en los graves problemas de salud pública que aquejan a la población; pese a ello, son hábitos que pueden modificarse a mediano plazo.

En las recetas se aprovecha la interacción y la complementariedad entre los agentes sápidos; así, el dulce limita lo salado o hace más agradable el amargo y el ácido; el salado reduce el ácido de la fruta verde y de los productos muy dulces; el ácido y el amargo enmascaran el dulce y esto permite añadir más azúcar a los refrescos, etcétera.

Olfato

La nariz es un órgano sensorial con más de 30 millones de receptores ubicados en 10 cm^2, en la parte posterior de la nariz, es mucho más sensible que las papilas gustativas y posee un alto poder discriminativo que identifica más de 10 000 compuestos en umbrales de concentración muy bajos; esta gran sensibilidad depende de la salud del individuo —la gripe la reduce— y puede incluso cambiar en un mismo día. Para ser percibidos, los agentes odoríficos deben ser volátiles y llegar a la nariz mediante una corriente de aire, como sucede con el aroma del café. Pero además, al masticar un alimento se produce un pequeño vacío que jala las moléculas desprendidas en la boca y las conduce a los receptores olfativos, debido a que la nariz y la boca se conectan en la parte posterior; entre menos masticación, menos moléculas son desprendidas y la intensidad olfativa es menor; de ahí la recomendación de masticar lentamente por el mayor tiempo posible para que el alimento sea más deleitable.

La naturaleza de la percepción depende de la concentración del agente activo, y para demostrarlo el mejor ejemplo es el escatol. Este compuesto en 0.1 ppm es responsable del fuerte y desagradable olor de las heces y se produce a partir del metabolismo del triptófano; sin embargo, a la mitad de esta concentración, es decir a 0.05 ppm, tiene un aroma afrutado-dulce de jazmín y por eso se incluye en la lista de saborizantes permitidos.

El principio básico de la termodinámica de que a mayor temperatura es mayor la volatilidad de las sustancias, es la razón de que un alimento caliente se capte más fácil e intensamente que uno frío. Por ello, para una percepción integral es recomendable atemperar las frutas, los jugos y los quesos refrigerados antes de consumirlos. De la misma forma, el desprendimiento de los aromáticos se facilita adicionando sal a la comida, con las bebidas alcohólicas y en sitios de menor presión atmosférica, como es el caso de la Ciudad de México. Contrariamente, en un avión se genera una sobrepresión que limita la fluidez de los volátiles y dificulta su captura.

El aroma de los alimentos representa menos del 0.02% de su composición total, pero está conformado de manera muy compleja por cientos de ácidos, alcoholes, aldehídos, azufrados, cetonas, ésteres, éteres y lactonas que se sintetizan por dos mecanismos: uno para los productos frescos y otro para los que son calentados.

a) Para el primer caso, el sistema enzimático endógeno de los alimentos frescos propicia cientos de reacciones biosintéticas que se hacen muy notorias en la maduración de las frutas que, de no tener aroma y ser amargas, astringentes y ácidas, pasan a ser dulces y aromáticas. De igual manera, este mecanismo biosintético se hace presente al morder una cebolla, un ajo o las crucíferas, como más adelante se describe, al igual que en la maduración de los quesos y de la carne. Son muchas las enzimas que intervienen; las lipoxigenasas desempeñan una función importante al actuar en la mínima cantidad de ácidos grasos insaturados que se encuentran en los vegetales, pero que es suficiente para generar el aroma del melón, el pepino y muchos otros productos.
b) En los alimentos sometidos a un proceso de calentamiento se propicia la reacción de Maillard y la caramelización, transformaciones que generan pigmentos y muchas sustancias aromáticas, como ocurre al freír vegetales, rostizar carne y hornear pan.

De todas las sustancias volátiles que se encuentran en un alimento, sólo unas cuantas son responsables de su característico aroma. Por ejemplo, por cromatografía de gases se ha identificado a más de 800 en el café, la mayoría provenientes de la reacción de Maillard y la caramelización durante el tostado del grano; del mismo modo se han identificado más de 300 en la fresa; sin embargo, a pesar de esta complejidad, son menos de 10 los importantes y definen el aroma. En el caso de la cebolla y el ajo, unos cuantos compuestos azufrados dan su típica nota, mientras que en el plátano y el pepino la definen sólo el acetato de amilo y el nonadienal, respectivamente. En la industria se imitan los sabores y aromas naturales mezclando pocas sustancias sintéticas como saborizantes.

Oído

El sonido es una vibración del aire que se capta en los oídos medio e interno y que sirve para identificar y evaluar la textura de algunos productos; por eso, cuando la manzana, la zanahoria o el chicharrón no producen el típico sonido crocante al morderlos, de inmediato se consideran de mala calidad, aun cuando posean sus otros parámetros sensoriales. La estructura del alimento se crea por la interacción del agua con las proteínas, los hidratos de carbono y los lípidos, y define la turgencia de los vegetales y la textura de una papa frita, propiedades responsables de que crujan al consumirlos.

Tacto

A excepción de las uñas y el pelo, todo el cuerpo humano (principalmente las manos, mejillas, lengua y paladar) posee terminaciones que actúan como sensores del tacto conec-

tados al encéfalo. Estas terminaciones producen tensión en las membranas de las células nerviosas, lo que a su vez genera una señal que viaja a través de la médula espinal y comunica el mensaje al cerebro. Tal como para el gusto y el olfato existen quimiorreceptores, y para la vista fotorreceptores, existen termorreceptores para el tacto que reaccionan a la temperatura y nocirreceptores que captan el dolor, igual que sistemas de propiocepción relacionados con las sensaciones de los músculos y los cinestésicos que miden el peso de los objetos. Este complejo mecanismo contribuye a identificar textura, forma, dureza, aspereza y otras propiedades físicas de los alimentos con el tacto.

Textura

La textura de un alimento depende de su proporción de sólidos (hidratos de carbono, proteínas, fibras, lípidos y minerales) con respecto al agua y los gases, aire, bióxido de carbono y nitrógeno; la interacción entre todos ellos de manera física o química y a nivel micro y macroscópico, da origen a burbujas, cristales, espumas, fibras, geles, glóbulos, gránulos, etc., responsables de la textura y apariencia de cada alimento.

Es el parámetro sensorial cuyo estudio es más complejo, que el consumidor distingue con la boca, los ojos, las manos y el oído y lo describe como adhesivo, blando, cremoso, cristalino, crocante, chicloso, duro, elástico, fibroso, granuloso, pegajoso, seco, suave, untuoso, viscoso, etc. En su percepción intervienen incluso los dientes, que son altamente sensibles y perciben partículas de cinco micras; la lengua lo hace a partir de 30 micras.

En los alimentos existen dos grandes grupos de texturas: las que están presentes de forma natural en los tejidos animales (por ejemplo carne, pescado, etc.) y vegetales (por ejemplo cereales, verdura, fruta, etc.), y los llamados *coloides* o dispersiones.

Las células vegetales y animales tienen una estructura muy compleja y representan la unidad mínima de un organismo vivo capaz de actuar por sí solo; la unión de millones de ellas mediante agentes cementantes genera sus distintos tejidos pluricelulares, que a su vez integran los músculos de res, cerdo, pollo y pescado, las crujientes frutas y verduras y los sólidos cereales y leguminosas.

Por su parte, los coloides o dispersiones no son celulares, sino más sencillos y a base de sólidos, líquidos y gases cuyas interacciones crean un sistema de dos fases: una continua o medio de dispersión y otra dispersa o discontinua, llamada soluto, con diferentes tamaños de partícula. Con base en estas interacciones moleculares se generan los siguientes sistemas coloidales:

- *Espuma*, que es un gas disperso en un líquido, como la que se obtiene al batir la clara de huevo para producir aires saborizados, o como la de la cerveza, los merengues y las cremas lácteas.
- *Espuma sólida*, como la del pan que es un gas (principalmente bióxido de carbono) en un sólido, o la de los helados y el algodón de azúcar.
- *Aerosol líquido*, que es un líquido en un gas en forma de niebla.

- *Aerosol sólido*, formado por la dispersión de sólidos en gases, como ocurre con el humo del cigarro o con el ahumado de cárnicos.
- *Sol*, que es un coloide viscoso integrado por un sólido en un líquido, como el atole y los purés.
- *Emulsión*, que se forma por la mezcla de dos líquidos inmiscibles, agua y aceite, como en la mantequilla, la leche, la margarina y los aderezos.
- *Gel*, integrado por un líquido en un sólido, como el de las gelatinas y flanes.

Para producir estos coloides, en el ámbito casero se utilizan harinas, huevos y mantequilla, entre otros productos, mientras que la industria se apoya en aditivos como gomas, emulsionantes, gelificantes y espesantes que confieren mayor vida útil al producto final. Un punto intermedio entre estas posiciones está en la gastronomía molecular, que adapta recetas populares con tecnologías modernas para lograr texturas más novedosas.

El conocimiento fisicoquímico de la formación de cada coloide ha permitido desarrollar aditivos y mejorar procesos. Con base en eso se pueden fabricar mermeladas para diabéticos con polisacáridos que no requieren de azúcar para la gelificación; existen mezclas de carbohidratos y proteínas que generan la típica espuma del pan y que son adecuadas en la elaboración de productos sin gluten para los celiacos; las espumas similares a las elaboradas con la clara del huevo se consiguen con proteínas de soya modificadas, etcétera.

Los coloides más importantes en los alimentos son las emulsiones, las espumas y los geles que se describen a continuación.

Emulsiones

Una emulsión es un coloide estable de agua y aceite en el que uno de ellos se dispersa en forma de gotas en el otro. A partir de esto existen dos tipos (figura 2.2):

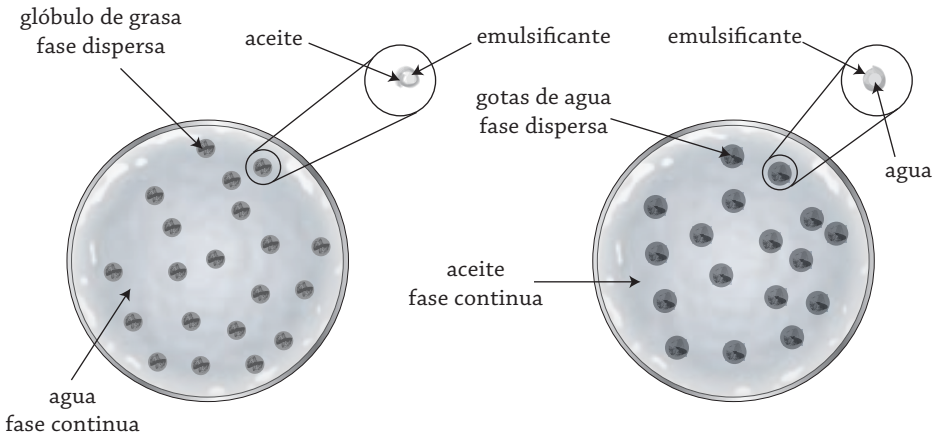
Emulsión de agua en aceite, como la margarina y la mantequilla, en las que las microgotas de agua se dispersan en una estructura continua de aceite (en inglés se abrevia como w/o, *water in oil*).

Emulsión de aceite en agua, como mayonesa, leche, helados y aderezos, cuyas gotas de aceite están dispersas en la fase continua de agua (en inglés se abrevia o/w, *oil in water*).

Por sus diferencias en densidad (1.0 y 0.92 g/mL) y en polaridad (uno polar y otro apolar), el agua y el aceite se separan naturalmente pero se estabilizan para integrar una emulsión por medio de tres mecanismos:

1. Uso de emulsionantes (vea en el capítulo 7 la sección Emulsionantes), como en los aderezos.
2. Por la reducción del tamaño de los glóbulos de grasa, como en la homogeneización de la leche (vea en el capítulo 8 la sección Leche pasteurizada, ultrapasteurizada y esterilizada).

Figura 2.2 **Estructura de las emulsiones.**



emulsión de aceite en agua (leche, mayonesa)

emulsión de agua en aceite (mantequilla, margarina)

3. Por el incremento de la viscosidad de la fase continua mediante la adición de espesantes (vea en el capítulo 7 la sección Espesantes y gelificantes), como en los helados.

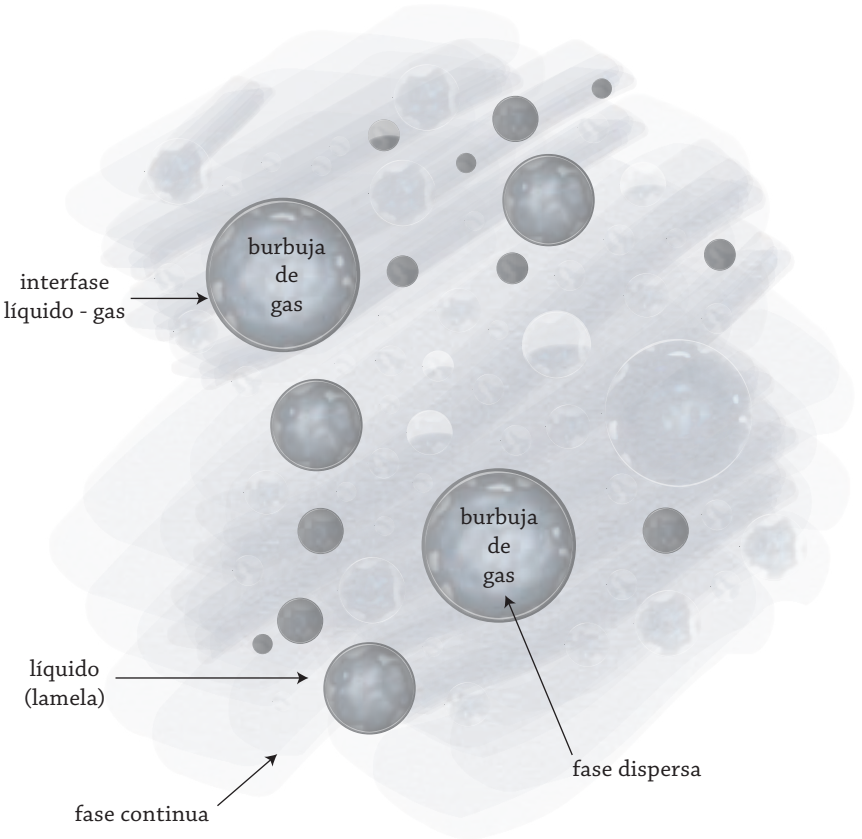
Al igual que con cualquier alimento que contenga aceites insaturados, las emulsiones se enrancian por su exposición continua a la luz solar, a las altas temperaturas y al oxígeno del aire, como ocurre al agitar los aderezos o al dejar mantequilla o margarina a la intemperie.

Espumas

Parecida a una emulsión, una espuma es una dispersión coloidal de pequeñas burbujas de aire o de bióxido de carbono en una fase continua acuosa llamada *lamela.* Para producirla se requiere un agente tensoactivo del agua que reduzca la tensión superficial, o fuerza interna entre moléculas; entre los más importantes están diversos polímeros como las proteínas y los polisacáridos que, al reducir esa tensión, hacen que las burbujas se mantengan firmes y dispersas y no se volatilicen. De todas las proteínas, las de la clara de huevo son las que más se utilizan y las que producen más espuma (vea en el capítulo 8 la sección Espumas), aun cuando hay espumantes en el catálogo de aditivos alimentarios.

Igual que en las emulsiones, el incremento de la viscosidad de la fase continua, por ejemplo por adición de azúcar, estabiliza la espuma. Los merengues, pasteles, helados, malvaviscos, *mousses,* cremas batidas, migas de pan, cervezas y jabón son ejemplos de espumas producidas por el aire incorporado durante el batido, o por el CO_2 generado en una fermentación. Para elaborar los llamados *aires*, que son preparaciones muy delicadas, se emplea lecitina como agente estabilizador.

Figura 2.3 **Estructura de una espuma.**



Soles y geles

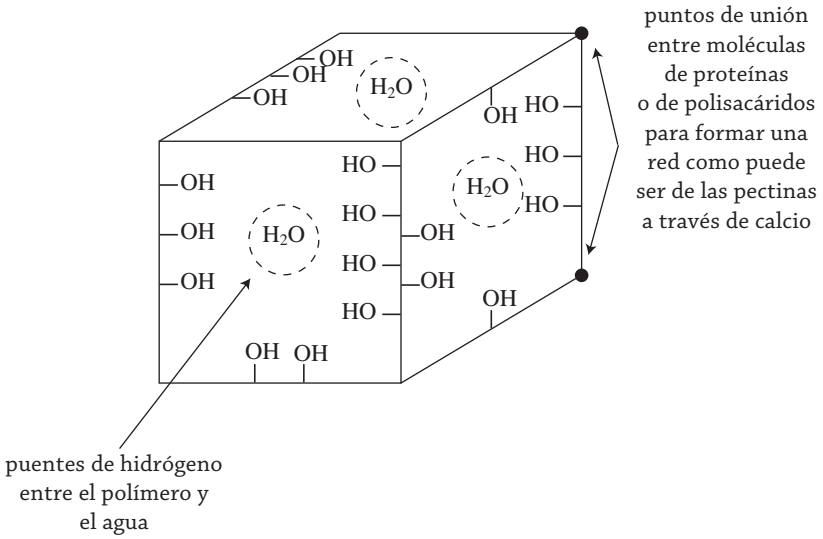
Por definición, el término *viscosidad* es la "resistencia de un fluido debido a la fricción entre sus moléculas ante la falta de un lubricante, por lo general agua". Este parámetro forma parte de la reología de los líquidos y se relaciona con distintos adjetivos aplicados a los alimentos; por ejemplo, cremoso, untuoso, etc. La viscosidad se incrementa con la concentración de sólidos, como ocurre con la evaporación del jugo de jitomate para producir purés o con la leche evaporada, y también con la adición de espesantes como harinas de maíz o trigo. La interacción de las proteínas y los polisacáridos (principalmente almidón) con el agua, provoca que ésta se inmovilice por puentes de hidrógeno y no actúe como lubricante, con lo que se crea un coloide llamado *sol* que es típico de atoles, purés, cremas, papillas y sopas. A su vez, este sol puede convertirse en un gel con el enfriamiento o con el aumento de sólidos.

Por su parte, un *gel* es un sistema intermedio entre un sol y un sólido elástico que en algunos casos se produce con sólo 1% del agente gelificante; es una red tridimensional tipo esponja conformada por la interacción entre proteínas y polisacáridos y en la que se retiene mucha agua por puentes de hidrógeno y capilaridad (figura 2.4). Su producción se debe a diversos mecanismos:

- Al aumentar el contenido de sólidos en los soles.
- Por enfriamiento del sol, como ocurre con la gelatina y las manitas de cerdo hervidas.
- Por desnaturalización térmica de proteínas, como la coagulación de la clara de huevo, de los aislados de proteína de soya y de la carne.
- Por la adición de iones calcio, como ocurre con los alginatos.
- Por la acción de la transglutaminasa, enzima de origen bacteriano que induce la gelificación sin enfriamiento.

Algunos geles son termorreversibles, es decir, funden con altas temperaturas pero gelifican con el enfriamiento (como los de agar y la grenetina), y otros son termoirreversibles (como los del huevo, la soya o la carne). Cada espesante y gelificante (vea en el capítulo 7 la sección Espesantes y gelificantes) tiene una capacidad de formar soles o geles y así la carragenina los produce sin necesidad de enfriamiento; por eso se emplea en postres que no requieren refrigerarse para su gelificación; mientras que otros lo hacen sólo a bajas temperaturas, como la grenetina.

Figura 2.4 **Representación de un gel.**



Con el tiempo, las moléculas de algunos geles se reacomodan e interaccionan entre ellas, como ocurre con la retrogradación del almidón y liberan parte del agua retenida; el líquido expulsado migra a la superficie y forma las pequeñas gotas típicas de la sinéresis, que además de causar una contracción del volumen, facilitan el crecimiento de hongos.

Otras percepciones

Además de las percepciones básicas descritas, existen otras secundarias que funcionan de forma paralela como la astringencia, el efecto refrescante, el sabor metálico y la pungencia.

La astringencia no es un sabor sino una sensación táctil descrita como resequedad por el encogimiento de los tejidos de la cavidad bucal, no de la lengua, provocada por taninos y otros polifenoles que interactúan con las proteínas de la saliva e inhiben su función lubricante haciendo que las partículas del alimento causen fricción y, en consecuencia, resequedad. La astringencia se incrementa con la sal y la acidez, y disminuye con el azúcar y polímeros como las proteínas de la leche, la gelatina y las pectinas de las frutas, lo cual se debe a que reaccionan con los taninos y neutralizan su efecto antes de que éstos lo hagan con las proteínas salivales.

La mayoría de las sustancias necesita calor para disolverse en agua, excepto el xilitol, la menta y la hierbabuena, que tienen un calor de disolución negativo, es decir, al disolverse en la saliva absorben calor y provocan una sensación de frescura.

Por su parte, el sabor metálico es producido por diversos óxidos de algunos metales, como el hierro, de los moluscos y las alcachofas; también se induce con el uso de utensilios de cocina hechos de aluminio, ya que se solubiliza en alimentos ácidos, como el jitomate, sobre todo en presencia de sal.

Pungencia

La pungencia o picor es una sensación relacionada con el nervio trigeminal que va de las cavidades bucal, nasal y facial hacia el cerebelo; causa dolor, irritación, lagrimeo e incluso gastritis y es generada por tres tipos de compuestos vegetales: la capsaicina, que es el más importante, los isotiocianatos y los capsaicinoides.

La *capsaicina* de los chiles en realidad la integran varios compuestos con diferente pungencia, por ejemplo la dihidrocapsaicina y la homocapsaicina, que actúan básicamente en el sentido del gusto y la garganta y sólo a más de 60 °C se volatilizan para ser percibidas por el olfato. Su presencia representa un mecanismo de defensa de la planta contra los depredadores y se encuentra en el pericarpio o venas blancas, de donde se difunde a las semillas; su máxima concentración, de aproximadamente 0.3% del chile,

se alcanza con la maduración, en los vegetales rojos y sobre todo en aquellos sometidos a estrés por falta de agua y que no alcanzan su pleno desarrollo. Los llamados *chiles toreados* (por ejemplo, los jalapeños) reciben ese nombre porque se saltean al fuego, provocando la migración de la capsaicina y su volatilización, razón por la cual se perciben más picosos.

En el organismo humano, la capsaicina tiene varios efectos: activa los centros de dolor de los oídos y del tracto gastrointestinal, pero al mismo tiempo libera endorfinas que provocan una sensación placentera; es un importante termogénico que incrementa el metabolismo de la grasa corporal y ayuda a la reducción de peso; produce inflamación temporal de la boca y la hace más sensible a los sabores; altera el mecanismo de regulación de temperatura a cargo del hipotálamo, causando una sensación de calor a la que el cuerpo responde con sudoración y enrojecimiento de los labios. Debido a que incrementa el flujo sanguíneo, la capsaicina se usa en medicamentos tópicos, o de uso externo como las cremas y ungüentos, contra dolores musculares y artritis.

La capsaicina es liposoluble, de modo que no se solubiliza en la saliva ni en el agua que se ingiere; para eliminarla de la lengua, y con ello el picor, se requiere algún material graso que la solubilice, por ejemplo leche entera o mantequilla. El alcohol también tiene este efecto, sobre todo el de las bebidas destiladas como tequila o ron, seguidas de la cerveza por su menor contenido de etanol.

La pungencia de los vegetales se mide de dos formas: *subjetiva* y *objetiva*. En el primer caso, a los catadores se les hace degustar mezclas a base de un jarabe de azúcar con diferentes concentraciones decrecientes de chile hasta que no capten el picor; el resultado se expresa en unidades Scoville, en honor de su inventor. Así, un chile de 10 000 unidades indica que los jueces tuvieron como límite de identificación una mezcla de 1 parte del picante con 10 000 de azúcar; desde luego, la prueba depende de la sensibilidad y los hábitos de consumo de los catadores. El pimiento morrón tiene casi 0 unidades Scoville, mientras que el chile más picoso del mundo, el *Bhut Jolokia* de la India, puede llegar hasta 1 millón; el poblano va de 1 000 a 1 500, el jalapeño de 2 500 a 8 000, el serrano y algunos chilpotles de 10 000 a 23 000, mientras que el habanero va de 100 000 a 350 000. El método objetivo implica la cuantificación de la capsaicina, lo que requiere de la cromatografía de alta presión. Con este resultado, 1 ppm de capsaicina equivale a 16 unidades Scoville; por ejemplo, el chile piquín que contiene 0.26% (2 600 ppm) de capsaicina, representa 41 600 Scoville.

En el comercio existen oleorresinas de chiles con diferentes unidades Scoville que se usan para la fabricación industrial de alimentos; de esta forma, el picor de los productos está controlado y estandarizado, y no depende de la variación natural de los chiles frescos.

Por su parte, los *isotiocianatos* del rábano, la mostaza y otras crucíferas son volátiles y afectan boca y nariz con una intensidad mucho menor que la capsaicina. Los *capsaicinoides*

se encuentran en la pimienta, el clavo y la canela; destaca la piperina, cuyas dobles ligaduras *trans* se convierten en *cis* con el calentamiento y la luz solar, y por eso pierde pungencia; la pimienta reduce su potencia por un mal almacenamiento, efecto que se acentúa al molerse. El bajo poder pungente del jengibre se debe a sus gingeroles.

El organismo necesita aproximadamente 100 nutrimentos, entre los cuales podemos mencionar aminoácidos, azúcares, ácidos grasos, vitaminas y minerales; algunos son indispensables y debe obtenerlos de la dieta, y otros son dispensables ya que los sintetiza. Además de su presencia en un alimento, los nutrimentos deben estar biodisponibles, es decir, en una forma química que el organismo los pueda aprovechar.

3

Alimentos y salud

No hay duda que existe una relación muy estrecha entre los alimentos que ingiere el hombre y su salud; algo que reflejan muy bien los refranes populares acuñados en épocas recientes como el siguiente: "dime qué comes y te diré quién eres". Esto no es novedad: en el siglo V a.C. el filósofo griego Hipócrates estableció la máxima: "deja que la comida sea tu medicina y la medicina sea tu alimento". Recientemente, la OMS definió *salud* como "el estado de completo bienestar físico, mental y social y no sólo la ausencia de enfermedad" y también reconoce que 60% de las muertes por cáncer se relacionan con la alimentación y que el delicado equilibrio que representa la salud se rompe por un consumo excesivo, como en la obesidad, o deficiente, como sucede en diversos tipos de desnutrición, por ejemplo el *kwashiorkor* (palabra de origen africano que se refiere a una grave carencia de proteínas).

La influencia de los alimentos en la salud es tan importante que se creó la *nutrigenómica*, rama del estudio que relaciona la nutrición con la expresión de los genes y el desarrollo de enfermedades; con base en ella se diseñan dietas individuales para prevenir males específicos.

El cuerpo de un adulto contiene aproximadamente 65% de agua, 20% proteínas, 10% grasa, 4% minerales y 1% hidratos de carbono, los cuales obtiene o sintetiza a partir de los nutrimentos que están presentes en los alimentos que consume; en otras palabras, la dieta provee los elementos que requiere el ser humano para su mantenimiento y función.

Síndrome Metabólico y obesidad

El Síndrome Metabólico, o de Reaven, es un conjunto de factores de riesgo o enfermedades crónico-degenerativas que causan arterioesclerosis y ateroesclerosis; incluyen obesidad, hipertensión arterial, dislipidemia y diabetes mellitus, todos relacionados con el consumo excesivo de grasas, carbohidratos, sodio y colesterol. Para descartar un diagnóstico positivo del síndrome es recomendable que la cintura del hombre no exceda los 102 cm y la de la mujer los 88 cm; tener menos de 150 mg de triglicéridos/dL (decilitro o 100 mL) de sangre; no más de 110 mg de glucosa/dL de sangre en ayunas; un mínimo de 50 mg de lipoproteínas de alta densidad/dL, y una presión arterial de 85 y 130 mm Hg para las presiones diastólica y sistólica, respectivamente. La obesidad, problema de salud considerado pandemia por la OMS, es el detonador de este síndrome ya que propicia una alta presión arterial, un aumento de triglicéridos y reduce las benéficas lipoproteínas de alta densidad; a tal grado que quien reduce 10 kg de peso puede abatir hasta en 20 mm Hg su presión arterial. Además del aspecto genético, la alta incidencia de obesidad se relaciona con dietas ricas en carbohidratos y grasas como los tamales, las tortas y los tacos que, para el caso de México, son alimentos con altos niveles de consumo entre la población, y por ello coloquialmente han dado pie a la expresión *vitamina T;* el ambiente *obesogénico,* además, predomina en escuelas, hogares y en la sociedad en general. También es común el sedentarismo, y es reducida la cantidad de personas que practica ejercicio. Las dietas ricas en fibras y bajas en grasas y azúcares, como las que tenían los antiguos pobladores de América, son ampliamente recomendadas para evitar el Síndrome Metabólico.

El Índice de Masa Corporal (IMC) es una forma de medición de la obesidad y se obtiene de dividir el peso entre el cuadrado de la estatura; así, una persona que pesa 70 kg y mide 1.70 m, tendrá un IMC de 24.2 ($70/1.70^2$). Para el caso de México, un valor inferior a 18.5 representa "bajo peso"; de 18.5 a 25 es "ideal"; de 25 a 30 se considera "sobrepeso", y por arriba de 30, "obesidad".

Nutrición

El término *nutrición* se define como "el conjunto de procesos a través de los cuales el organismo recibe, transforma y utiliza las sustancias químicas (nutrimentos) contenidas en los alimentos". El cuerpo es una máquina perfectamente sincronizada que funciona gracias a miles de reacciones enzimáticas que requieren dos insumos:

1. Los *nutrimentos* que circulan por el sistema digestivo (boca, estómago e intestinos delgado y grueso.
2. El *oxígeno* de los sistemas respiratorio y circulatorio (nariz, pulmones y sangre).

Estos insumos producen la energía y los materiales para regenerar células y tejidos, pero también subproductos como orina, heces y radicales libres.

El organismo necesita aproximadamente 100 nutrimentos, entre los cuales podemos mencionar aminoácidos, azúcares, ácidos grasos, vitaminas y minerales; algunos son indispensables y debe obtenerlos de la dieta, y otros son dispensables ya que los sintetiza. Cada uno actúa de forma precisa a través de diversas rutas bioquímicas complejas que estudia la *metabolómica;* no hay un solo alimento que aporte todos los nutrimentos, razón por la que se recomienda tener una dieta variada que sea completa, suficiente, equilibrada, inocua y adecuada a las características y necesidades del individuo.

El anexo II muestra las recomendaciones de ingesta diaria de proteínas, hidratos de carbono y lípidos para la población mexicana y el anexo III indica los micronutrimentos sugeridos en la Norma 051 de etiquetado de alimentos.

Además de su presencia en un alimento, verificado por un análisis tradicional de laboratorio, los nutrimentos deben estar biodisponibles, es decir, en una forma química que el organismo pueda aprovechar. Para ejemplificarlo analicemos un caso extremo: las uñas contienen mayor cantidad de proteínas que la leche, pero su aprovechamiento es nulo ya que sus estructuras secundaria y terciaria son tan rígidas que no pueden ser atacadas por las enzimas digestivas; las uñas entran por la boca y se eliminan en las heces sin haber sido modificadas de forma alguna, contrariamente a lo que sucede con la leche. Por otra parte, la niacina del maíz crudo se encuentra en forma de un complejo que la hace indisponible y sólo es aprovechada por el hombre cuando se libera gracias a la nixtamalización; de igual manera, el licopeno del jitomate es más biodisponible después de un proceso de calentamiento, como el que está presente en el *catsup* o en el puré.

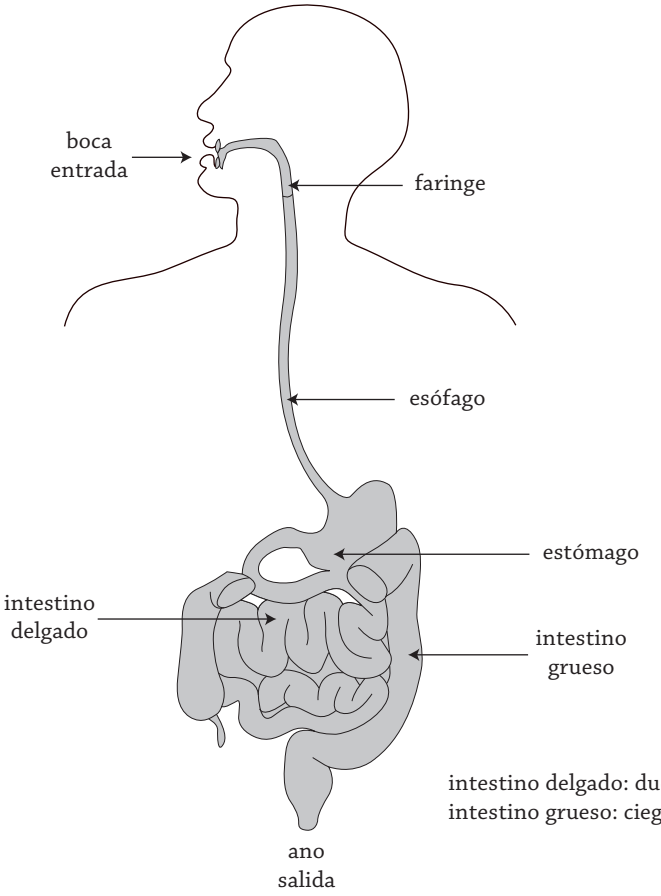
La biodisponibilidad de los nutrimentos es muy importante y depende de factores como los siguientes:

- Forma química e interacción con otros componentes.
- Composición, viscosidad y pH de los alimentos.
- Tiempo de tránsito en el tracto gastrointestinal.
- Presencia de inhibidores de proteasas.

Digestión

El sistema digestivo es un ducto que mide 7 u 8 m de largo y tiene una sola entrada, la boca, a la que le sigue el estómago y los intestinos delgado y grueso, para terminar en una sola salida, el ano (figura 3.1). En cada sección y de forma secuencial se llevan a cabo reacciones enzimáticas que hidrolizan o rompen las macromoléculas —proteínas, hidratos de carbono y lípidos— en aminoácidos, monosacáridos y ácidos grasos, respectivamente. Junto con el agua, las vitaminas y los minerales, se absorben en distintas partes de los intestinos para llegar al torrente sanguíneo, que los distribuye a todo el cuerpo. En este complejo proceso, el alimento permanece unas cuatro horas en el estómago y 20 en el intestino hasta que se produce la defecación, e incluye las siguientes etapas:

Figura 3.1 **Representación esquemática del aparto digestivo.**



a) *Ingestión.* Implica la masticación, única etapa que el ser humano controla y con la que comienza la digestión mediante señales que manda al cerebro; al masticar, el alimento reduce su tamaño de partícula y así se favorece su contacto con las enzimas digestivas, además de que se producen unos 250 mL de saliva que funciona como lubricante. A excepción de los primeros años de vida, el ser humano está más habituado a masticar que a beber alimentos, además de que tiene sensores de saciedad para sólidos y no para líquidos.

b) *Digestión.* Etapa enzimática que comienza en la boca con la amilasa salival, seguida de la pepsina del estómago y de muchas otras enzimas del intestino delgado, por ejemplo tripsina y quimotripsina (proteasas), lactasa y sacarasa (carbohidrasas), lipasa, etc., que generan aminoácidos, monosacáridos y ácidos grasos, respectivamente.

c) *Absorción.* Tanto de estos componentes sencillos como de otros, por ejemplo vitaminas, minerales y agua a través del epitelio intestinal.

d) *Transporte sanguíneo.* Lleva estos componentes a los tejidos del cuerpo que los necesitan.

e) *Metabolismo intracelular*. Aprovechamiento de estos compuestos sencillos para generar energía o material estructural como las proteínas de los músculos, la piel y la sangre.

f) *Almacenamiento*. Algunas de estas sustancias, como la glucosa, se almacenan en forma de glucógeno o grasa en el tejido adiposo.

g) *Excreción***.** Incluye todos los materiales de los alimentos que no se absorben a través del epitelio intestinal, como las fibras, además de microorganismos del tracto gastrointestinal, bilis y otros compuestos; en la orina se elimina el exceso de las vitaminas hidrosolubles ingeridas.

Energía

El organismo obtiene la energía que necesita de las grasas, los hidratos de carbono y las proteínas y se mide en kilocalorías (kcal), también indicadas como Cal, o en kilojoules (kJ); la kilocaloría es la cantidad de calor necesaria para incrementar en 1 °C un gramo de agua. La capacidad calórica de los alimentos se mide con un calorímetro, que consta de una cámara cerrada donde el producto se quema en presencia de oxígeno y una cierta cantidad de agua a la que se le mide el incremento de temperatura por efecto de la combustión. Con base en esto, las grasas, los hidratos de carbono, las proteínas y el etanol generan 9, 4, 4 y 7 kcal por gramo (38, 17, 17 y 29 kJ, respectivamente). Un litro de cerveza con 5 grados de alcohol produce aproximadamente 450 kcal. El anexo I muestra el contenido calórico de algunos alimentos.

A diferencia del calorímetro, en el cuerpo humano *no se queman* los alimentos de manera abrupta, sino que la energía se produce lentamente y más que una combustión es una oxidación; el resultado es el adenosín trifosfato (ATP) que funciona como reserva energética para todas las células activas, más el bióxido de carbono y vapor de agua que se eliminan en la espiración y el agua de la orina y del sudor, de la siguiente forma:

$$\underset{\text{(glucosa)}}{C_6H_{12}O_6} + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \underset{\text{(ATP)}}{686\ \text{kcal}}$$

La edad, el género y la salud influyen en los tres factores que determinan la necesidad calórica de un individuo: *a)* metabolismo basal; *b)* efecto térmico de los alimentos consumidos y *c)* actividad física desarrollada.

El metabolismo basal es la energía mínima requerida por un individuo despierto, en reposo y en ayuno para mantener el cuerpo a 37 °C, y para que funcionen sus órganos internos, como el hígado, los riñones y el corazón. Termodinámicamente, el ser humano está en desequilibrio con el ambiente, sobre todo en invierno donde el diferencial de temperatura es mayor, y para conservar los 37 °C requiere unas 15 kcal/h. Como ejemplo de la necesidad de energía de un órgano interno, considere el corazón, músculo semejante a una bomba de pistones con cuatro cámaras que suministran 4.5 a 6 L de sangre al día a una presión de 130 mm Hg y cuya potencia se calcula al multiplicar el flujo por la presión, lo que resulta en aproximadamente 2 watts (1.72 kcal/h), o un consumo menor a 45 kcal/día. De forma

general, el metabolismo basal equivale a 1 kcal/h/kg de peso, o 1 200 a 1 600 kcal/día, y representa 60 a 75% de la energía total para un adulto sedentario.

El efecto térmico son las calorías consumidas para llevar a cabo las distintas etapas de la digestión y representa aproximadamente 10% del total de los requerimientos.

Finalmente, el tercer factor de necesidades energéticas se refiere a la actividad física, lo cual depende obviamente de la intensidad con la que ésta se lleva a cabo. Las necesidades calóricas van desde 700 kcal para niños de 0 a 6 meses, hasta 2 700 para varones jóvenes con actividad física. Para ilustrar este caso, y como dato curioso, las calorías que requiere un adulto equivalen a mantener encendido permanentemente un foco de 120 watts. Para un mejor equilibrio entre la generación de energía y los nutrimentos que se consumen es recomendable que del total de calorías, 60 a 65% provenga de hidratos de carbono, 20 a 25% de lípidos y 15 a 20% de proteínas.

La obesidad se produce por el consumo excesivo de energía, que puede provenir de grasas e hidratos de carbono al romper el principio del equilibrio energético: "lo que entra es igual a lo que sale, más lo que se acumula". En otras palabras, si se consumen más calorías de las que se gastan, el exceso se almacena como tejido adiposo, tal como ocurre con la falta de actividad o sedentarismo; en cambio, una dieta con menos calorías (hipocalórica) provoca la utilización de la grasa almacenada para compensar la deficiencia, lo que induce el adelgazamiento. En casos extremos como el de la anorexia o el de una huelga de hambre, una vez agotada la grasa el organismo utiliza las proteínas como fuente de energía, con lo que se pierde masa muscular.

Agua

El agua cumple diversas funciones: participa en la hidrólisis de macromoléculas; regula la temperatura del cuerpo mediante la sudoración; transporta nutrimentos en la sangre; elimina desechos en la orina, etc. Representa aproximadamente 65% del peso en el hombre y 55% en la mujer; se incrementa en niños, que al nacer tienen hasta 75%. Es tan importante que la insolación o una diarrea pueden causar graves secuelas, y en casos extremos (por ejemplo la pérdida de sólo 10%) hasta la muerte; el hombre puede sobrevivir un mes sin alimento, pero no más de siete días sin agua.

El balance hídrico es fundamental, y para mantenerlo el consumo de agua debe compensar las pérdidas de 2 a 3 litros al día de la orina, heces, sudor y vapor de la espiración. Este último depende del esfuerzo físico, de la temperatura y de la altitud del lugar; por ejemplo, en la Ciudad de México se respira con más frecuencia que a la orilla del mar, debido a que el oxígeno es más escaso, y como resultado se incrementa la espiración; además, a menor presión atmosférica el aire es seco y el agua se evapora más fácilmente por los poros de la piel.

Para reponer líquidos es recomendable tomar agua simple, aunque también son útiles otros líquidos como refrescos, jugos, tés, sopas y vegetales frescos. Además de estas fuentes externas, el organismo humano produce de 300 a 450 mL de agua durante el metabolismo de la glucosa. Como regla general, se sugiere 1 mL de agua por kcal; así, una dieta de 2 500 kcal implica 2.5 L; para adelgazar, es recomendable tomarla antes de consumir los

alimentos: así se expande el estómago y con ello se facilita el envío de la señal de saciedad al cerebro. Son incontables sus efectos benéficos, pero al igual que ocurre con cualquier otra sustancia, el exceso en su consumo conlleva problemas de salud, porque los riñones trabajan más y en la orina se eliminan electrolitos, como sodio, potasio y magnesio, lo que resulta en dolores de cabeza, calambres e incluso pérdida de la memoria; síntomas que englobados se conocen como *potomanía*.

La sed es provocada principalmente por el consumo de sal, ya que rompe el balance sanguíneo de sodio/potasio, y para restituirlo el cerebro envía la señal de necesidad de agua; también la inducen los refrescos con alto contendido de azúcar. El agua fría combate la sed más rápido, ya que contrae el estómago y hace que fluya el líquido hacia el intestino grueso, donde se absorbe con mayor prontitud.

Hidratos de carbono

La glucosa es el mayor combustible del organismo humano, sobre todo del cerebro que utiliza hasta 130 g/día, equivalentes a 20 o 30% de los hidratos de carbono recomendados para un adulto. Almidón, dextrinas, sacarosa, lactosa y maltosa son sus principales fuentes, pero también el glucógeno almacenado en el hígado la provee, aunque de forma limitada. El nivel de glucosa sanguínea se mantiene por la acción de las hormonas insulina y glucagón del páncreas; sin embargo, además de su acumulación en la sangre, la ingesta excesiva provoca su conversión en tejido adiposo mediante la lipogénesis.

Los distintos hidratos de carbono incrementan la glucosa sanguínea de forma distinta, y es medida con el Índice Glucémico (IG), donde 100 corresponde a la glucosa pura. A los productos que lentamente liberan el monosacárido se les denomina *alimentos tortuga* porque son de bajo índice y contienen fibras; en cambio, los *alimentos liebre* como refrescos y postres ricos en sacarosa, aumentan de forma rápida la glucosa sanguínea y provocan picos de glucemia peligrosos, sobre todo para los diabéticos. Algunos ejemplos de estos índices son los siguientes: cacahuates 13; fructosa 23; pastas 34; mascabado 60; sacarosa 65; arroz integral 66; tortillas 69; arroz blanco 72; bolillos 82, y miel 87. Como podemos observar el bolillo eleva la glucosa más rápidamente que la propia sacarosa y las pastas, y que el arroz integral tiene un menor índice que el blanco.

Los azúcares también favorecen la proliferación de bacterias fermentativas productoras del ácido láctico que ataca la cubierta de los dientes e induce la caries; el daño no depende de la cantidad del carbohidrato consumido, sino del tiempo de contacto con el diente; por eso un caramelo es menos cariogénico que un pastel, debido a que el almidón del segundo se mantiene pegado a los dientes, y con ello el azúcar.

Fibras

Son polisacáridos no metabolizables por los monogástricos (incluido el hombre), a diferencia de los rumiantes; de acuerdo con su solubilidad en agua se dividen en dos grupos:

a) *Solubles*. Incluye pectinas, hemicelulosa y gomas que por puentes de hidrógeno retienen 15 a 20 veces su peso en agua y forman un sol (vea en el capítulo 2 la sección Soles y geles) que produce la sensación de saciedad y heces blandas; estimulan la secreción gástrica; aceleran el movimiento del intestino delgado y acortan el tiempo de tránsito intestinal, con lo que se reduce la posibilidad de la absorción de colesterol, glucosa y grasas. Las bacterias nativas del colon las fermentan y generan bióxido de carbono, hidrógeno, metano y ácidos grasos volátiles.
b) *Insolubles, celulosa y lignina*. Se encuentran principalmente en las capas externas de cereales como trigo, arroz, maíz, centeno y cebada; también se hidratan; forman el bolo; incrementan el volumen fecal; dan la sensación de saciedad; disminuyen el tránsito intestinal, y favorecen la evacuación, pero no son atacadas por la microflora colónica y así se eliminan en las heces.

Ambas limpian el sistema digestivo, reducen la absorción, tanto de monosacáridos como de grasas, con lo cual se previene la diabetes y los problemas cardiovasculares, respectivamente, y evitan el estreñimiento; además, aumentan la masticación que a su vez genera la saliva que limpia los dientes y reduce la caries. Algunas funcionan como prebiótico. Para México se recomienda que el hombre consuma 35 g de fibra y la mujer 30 g, cantidades superiores a los 15 g que se consumen actualmente en promedio (vea el anexo II). Una manzana o una guayaba aporta de 3 a 4 g, las ensaladas de lechuga, pepino y jitomate son una buena fuente de fibra, lo mismo que el nopal, la zanahoria, el brócoli, el frijol, las habas y las lentejas. Gran parte de la fibra se pierde en el bagazo que por lo general se elimina al preparar jugos; por ejemplo, la zanahoria contiene 6.3%, pero su jugo sólo 0.8%, y la naranja pasa de 2% a 0.1%. En contraste, el consumo excesivo causa flatulencia y diarreas, además de que inhibe la absorción de vitaminas, minerales y medicamentos.

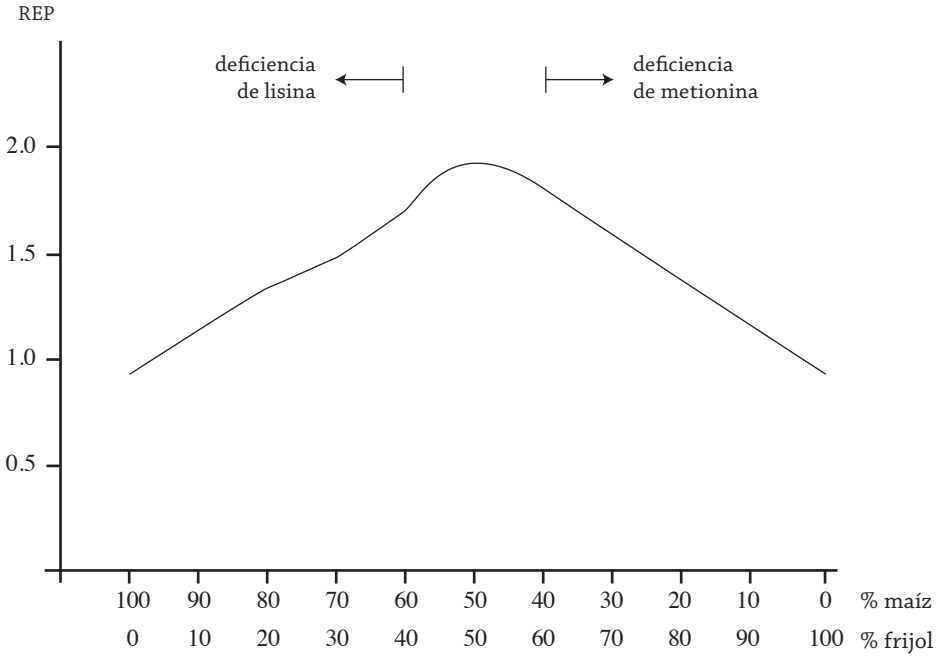
Proteínas

Después del agua, las proteínas son los compuestos más abundantes en el organismo humano y están presentes en músculos, hemoglobina, piel, órganos internos, cabello, uñas, hormonas, enzimas, etc.; son los nutrimentos más versátiles, con más funciones biológicas y son sintetizados a partir de los aminoácidos de la dieta. La contribución de una proteína al bienestar del hombre se mide por su valor nutrimental, que a su vez está definido por dos parámetros: el contenido de aminoácidos indispensables que el organismo no sintetiza y su digestibilidad o aprovechamiento en el sistema digestivo.

Para medir el valor nutrimental de las proteínas se acude a métodos biológicos y a métodos químicos. En los primeros se utilizan animales de laboratorio (ratas principalmente) a los cuales se les mide la pérdida o ganacia de nitrógeno proteico después de ser alimentados con una dieta durante cierto tiempo; entre estos métodos se encuentra la Relación de Eficiencia Proteica, REP (*protein efficiency ratio, PER)* y el Coeficiente Proteico Neto (*net protein ratio, NPR*). Por otra parte, los métodos químicos, como el de la Cuenta Química (CQ) o Puntuación Química (PQ), más simples y en los que no se utilizan ani-

males de laboratorio, se calcula sencillamente al dividir el contenido de aminoácidos de la proteína de estudio entre el del huevo, que se emplea como patrón de referencia. Algunos ejemplos de CQ son: maíz 49, trigo 52, frijol 55, garbanzo 63, cacahuate 67, arroz 77, maíz+frijol 80, arroz+haba 90, frijol+arroz 91, carne, leche, huevo, pescado y soya 100. Es de resaltar que individualmente el maíz y el frijol son bajos, pero mejoran si se consumen al mismo tiempo en una proporción de 1:1, debido a que sus perfiles de aminoácidos se complementan: los que le faltan al maíz los cubre el frijol. Lo mismo ocurre con el tradicional guiso *moros con cristianos,* es decir, frijol con arroz, y otras mezclas de cereales y leguminosas (figura 3.2).

Figura 3.2 **Complementariedad de las proteínas de maíz y frijol. La relación de 50:50% es la óptima.**



Las proteínas de origen animal son de buena calidad, aunque casi siempre van acompañadas de grasas y son, por gramo, las más costosas. Por su parte, las vegetales son deficientes en algunos aminoácidos, llamados limitantes, como ocurre con la metionina en las leguminosas, la lisina y la metionina en las oleaginosas, y la treonina, triptófano y lisina en los cereales.

El anexo II muestra las recomendaciones diarias de proteína, que de forma general equivalen a aproximadamente 0.83 g/kg de peso para los adultos y a 2 g/kg para los infantes. Se recomienda dividir esta cantidad en partes iguales para las de origen animal y vegetal; así, un trozo de carne de 130 g contiene 30 a 40 g de proteína que se puede complementar con arroz, frijol, lentejas, trigo o soya. Tal como sucede con cualquier nutrimento, su consumo

excesivo genera problemas: se sintetiza ácido úrico que no se elimina en la orina y se acumula en los cartílagos, lo que causa el padecimiento conocido como *gota;* se produce homocisteína, aminoácido relacionado con un mayor riesgo de cardiopatía coronaria y cuya concentración se reduce con la ingesta de ácido fólico y de las vitaminas B_6 y B_{12}; algunas proteínas animales pueden provocar pérdida de calcio en la orina, y con ello la osteoporosis.

Grasas y aceites

En décadas recientes las grasas y aceites han causado mucha polémica. En la década de 1980 y parte de la de 1990 eran dañinos y se recomendaba el menor consumo posible, pero posteriormente se les adjudicaron beneficios y la limitación se flexibilizó. Más adelante, con el descubrimiento de los deletéreos ácidos grasos saturados y los *trans,* se retomó una posición rígida, y ahora se recomienda el consumo moderado de los aceites con ácidos poliinsaturados por sus efectos positivos en el ser humano. Es un hecho que en los alimentos cumplen diversas funciones, como de *calidad* al proporcionar lubricación y sabor; de *nutrición,* al representar la forma más concentrada de energía (9 kcal/g) y que en exceso propician la obesidad, y de *función biológica,* al aportar ácidos grasos indispensables.

Para lograr el equilibrio entre sus beneficios y perjuicios, se considera que 25% de las calorías consumidas provengan de grasas y aceites, y que a su vez 18% sea de los ácidos grasos insaturados y 7% de los saturados. Por ejemplo, en una dieta de 2 000 kcal, las grasas y aceites deben aportar 500 (2 000 × 0.25) que equivalen a 55.6 g (500/9) y deben distribuirse en 140 kcal o 15.6 g para los saturados y 360 kcal o 40 g para los insaturados. Para mayores beneficios, debe llevarse una dieta con al menos 25 g de fibras y menos de 250 mg de colesterol por día.

Los ácidos omega-3 y 6 —linoleico, linolénico, EPA, DPA y DHA— forman parte de la membrana celular, facilitan la transmisión sináptica, participan en los sistemas reproductivo e inmunitario y sintetizan las lipoproteínas de alta densidad; se encuentran en el maíz, la soya, el cártamo, la canola, las nueces y, sobre todo, en peces de aguas frías. Por cada 100 g se tienen los siguientes contenidos de omega-3: atún 0.9; salmón 1.6; arenque 2, y bacalao 0.2. Para mejores resultados, se recomienda consumirlos en una proporción de aproximadamente 4 de omega-6 a 1 de omega-3, como se muestra en el anexo II.

Por su parte, los saturados palmítico y láurico del coco, mantequilla y palma son hipercolesterolémicos al favorecer la síntesis de colesterol y lipoproteínas de baja densidad. A pesar de ser insaturados, los ácidos grasos *trans* son tan dañinos como los tradicionales saturados y se considera que por cada 2% de aumento de las calorías provenientes de ellos se incrementa en 25% el riesgo de accidentes cardiovasculares.

Para reducir, o incluso evitar el consumo de grasa y con ello de calorías, se sugiere cocinar los alimentos al vapor o en horno de microondas, en lugar de freírlos. En el comercio existen alimentos a base de sustitutos de grasa (vea en el capítulo 7 la sección Sustitutos de grasas), aunque no contribuyen con ácidos grasos indispensables. La capsaicina del chile, la teína del té, la cafeína del café, y la teobromina del cacao son termogénicos que aceleran el metabolismo de las grasas y así contribuyen a la reducción de peso.

Colesterol

Debido a que este esterol-alcohol es exclusivo del reino animal, las oleaginosas y los cereales no lo contienen y por eso es redundante referirse a un aceite de soya o de maíz sin colesterol. A pesar de su mala fama por promover el Síndrome Metabólico, es fundamental para crear las membranas celulares y para la síntesis de hormonas sexuales como estrógenos y testosterona, de la vitamina D, de la bilis y de la aldosterona que regula la presión arterial; es tan importante que el hígado sintetiza el 80% del que se encuentra en la sangre y sólo 20% proviene de la dieta.

El colesterol, los triglicéridos y los fosfolípidos se transportan en la sangre por vehículos especializados: las lipoproteínas, que son partículas de grasa y proteína y de las que existen dos tipos: las de alta densidad, LAD (del inglés *high density lipoproteins, HDL*), con más proteína que grasa, y las de baja densidad, LBD (del inglés *low density lipoproteins, LDL*), que contienen más grasa que proteína. Estas últimas toman el colesterol del hígado y en su camino de distribución a las células que lo requieren dejan residuos en el endotelio o pared interna de las arterias, razón por la cual se les llama *colesterol malo;* por su parte, las LAD efectúan el viaje de regreso y recogen y limpian el exceso de colesterol para depositarlo en el hígado, donde es reprocesado o excretado y por ello se les conoce como *colesterol bueno*.

Desde el punto de vista químico no hay dos moléculas distintas de colesterol, y llamarlo "bueno" o "malo" sólo refiere a la función de la lipoproteína con la que interactúa. La parte grasa de las lipoproteínas contiene ácidos grasos: los saturados y *trans* favorecen las dañinas LBD, mientras que los poliinsaturados las benéficas LAD.

Tanto el colesterol como las LAD y LBD de la sangre determinan el riesgo cardiovascular; se recomienda un máximo de 200 mg de colesterol/dL, un mínimo de 50 mg/dL de LAD, un máximo de 100 mg/dL de LBD y no consumir más de 120 a 130 mg/100 kcal para todas las edades (vea el anexo II).

Vitaminas

Es un grupo de compuestos al que continuamente se les atribuye propiedades mágicas, porque se desconoce su función biológica. Son 13 sustancias con estructuras disímbolas que participan principalmente como cofactores de diversas enzimas involucradas en el metabolismo y la generación de energía a partir de hidratos de carbono, proteínas y lípidos, y que por sí solas no producen calorías; también tienen otras funciones particulares, como en el sistema de defensa antioxidante del organismo humano y en el ciclo visual. Su carencia conlleva graves problemas de salud, aun cuando la flora del intestino grueso sintetiza la K y la biotina.

Son micronutrimentos que el organismo humano necesita en muy baja concentración (vea el anexo III) y que puede satisfacerse con una dieta variada y equilibrada sin tener que utilizar preparaciones farmacéuticas; como excepción está el ácido fólico para las mujeres que desean embarazarse. Sin embargo, un consumo excesivo de la A, D y B_6

conlleva problemas de hipervitaminosis tóxica y generalmente se presenta después de la ingesta excesiva de suplementos vitamínicos.

El organismo humano tiene una capacidad limitada de almacenamiento de las hidrosolubles (grupo B y C) y el exceso se elimina en la orina; esto se comprueba con el color verdoso y fuerte aroma de la orina después de ingerir fármacos ricos en riboflavina. Químicamente no hay diferencia entre una vitamina sintética y otra natural; sin embargo, la biodisponibilidad puede variar debido a que algunos componentes de los alimentos ayudan o inhiben su absorción y aprovechamiento.

Existen vitaminas que tienen *vitámeros,* esto es, compuestos afines con la misma función biológica pero distinta intensidad, la cual se mide con la Unidad Internacional (UI, o IU en inglés). Por ejemplo, 1 UI de vitamina A equivale a 0.3 μg de retinol o 0.6 μg de β-caroteno (se debe consumir el doble del pigmento para igualar el efecto del retinol); 1 UI de vitamina D son 0.025 μg de colecalciferol o de ergocalciferol; 1 UI de vitamina E equivale a 0.666 mg de *d*-α-tocoferol o 1 mg de acetato de *d*-α–tocoferol; 1 UI de vitamina C son 50 μg de ácido ascórbico, etc. Las unidades internacionales también se emplean para diversos compuestos como la insulina y otras hormonas.

La *tiamina* (B_1) es una coenzima del metabolismo de hidratos de carbono y su deficiencia produce *beriberi,* vocablo ceilanés que se refiere a una debilidad extrema; tiene efectos benéficos en el estado de ánimo y del sistema nervioso, pero el alcohol la destruye; abunda en el extracto de levadura, en el arroz entero y la carne de cerdo. La *riboflavina* (B_2) es otra coenzima que participa en la utilización de la grasa y en otras reacciones enzimáticas; su deficiencia provoca dermatitis y lesiones en la boca, se encuentra en el hígado, levadura, germen de trigo y huevos.

La B_6 tiene tres vitámeros —*piridoxina*, *piridoxal* y *piridoxamina*— presentes en plátanos, pollo y germen de trigo, actúan como coenzimas del metabolismo del glucógeno y de aminoácidos; su deficiencia causa dermatitis, depresión y hasta confusión mental. Por su parte, la B_{12} o *cobalamina* (contiene cobalto en su molécula) participa en las modificaciones de aminoácidos, propicia la síntesis de glóbulos rojos y ayuda al funcionamiento del sistema nervioso; debido a que es exclusiva del reino animal, a los vegetarianos estrictos se les recomienda consumir suplementos vitamínicos que la contengan.

La *niacina* es una coenzima presente en champiñón, levadura de cerveza, germen de trigo y cacahuate y la del maíz sólo se hace biodisponible después de la nixtamalización; el hombre la sintetiza a partir de triptófano de manera poco eficiente (60 partes del aminoácido para una de vitamina) y su carencia provoca la pelagra, vocablo de origen italiano que significa "piel quebrada", o enfermedad de las 3 D: dermatitis, diarrea y demencia. El *ácido pantoténico*, llamado vitamina B_5, es coenzima y se encuentra tan difundido que no hay problemas de carencia; las nueces y el salvado de trigo lo contienen. La *biotina* no es indispensable, ya que es sintetizada por la flora intestinal y también es una coenzima.

El *ácido fólico* o *folatos* (del latín *folium*, hoja) se encuentra en lentejas, espinacas, nueces, salvado de trigo, pimiento rojo y brócoli; interviene en la maduración de los glóbulos rojos, en la interconversión de aminoácidos, en la síntesis de nucleótidos, en el traspaso del código genético a los hijos y en la formación de células sanas; las mujeres en edad reproductiva y antes del embarazo deben consumirlo para evitar malformaciones del feto y

la espina bífida. Al convertir la homocisteina en metionina, el ácido fólico ayuda a reducir las enfermedades cardiovasculares.

El *ácido ascórbico* (vitamina C) participa en más de 300 procesos biológicos de crecimiento y reparación de tejidos, cicatrización de heridas, mantenimiento de dientes, huesos y cartílagos, favorece la absorción de hierro , estimula el sistema inmunológico, incrementa la resistencia a infecciones y actúa como antioxidante fitoquímico. Su deficiencia causa escorbuto, mal que conlleva inflamación y sangrado de encías y que en épocas anteriores diezmaba las tripulaciones que pasaban meses en altamar sin consumir vegetales frescos. Los fumadores la requieren en mayor cantidad ya que los radicales libres del tabaco la destruyen. Se encuentra en el pimiento morrón, guayaba y cítricos, pero debido a que es muy sensible a la oxidación por altas temperaturas, aire, luz solar, hierro y cobre, se pierde rápidamente en los jugos o frutas peladas. Al oxidarse se convierte, en una primera etapa, en el ácido dehidroascórbico que todavía tiene una potencia biológica de 80% pero cuya posterior destrucción da origen a las melanoidinas (figura 1.9). El requerimiento diario de 60 mg para adultos se satisface con 2 y 3 guayabas, 2 naranjas, o una combinación de éstas con chiles, col de Bruselas y brócoli.

La vitamina *A* es parte de la rodopsina que funciona como fotorreceptor en los conos y bastones oculares, convierte las señales luminosas en impulsos nerviosos en la retina,

Cuadro 3.1 **Contenido promedio de vitamina C (ácido ascórbico) en algunas frutas y legumbres.**

Fruta/legumbre	mg/100 g
Manzana	10
Plátano	10
Jitomate	15
Mandarina	25
Toronja	30
Piña	45
Naranja	50
Limón	50
Fresa	57
Col de Bruselas	85
Brócoli	90
Kiwi	98
Chile	120
Guayaba	230

mantiene los epitelios, participa en la producción de glóbulos blancos y, por sus dobles ligaduras, actúa como antioxidante fitoquímico. Esta actividad la desarrolla cuando todas sus dobles ligaduras están en forma de *trans* y la pierde en la medida que se convierten en *cis*, como ocurre por su calentamiento.

Su deficiencia causa ceguera nocturna, xeroftalmia y problemas de la piel. La vitamina A, como tal, sólo se encuentra en el reino animal, mientras que en los vegetales existe el β-caroteno y otros precursores que en el hígado se convierten en esa vitamina. Un consumo excesivo de precursores, o de la propia vitamina, se acumula en el hígado como retinol, forma alcohólica de la vitamina, lo que provoca dolores de cabeza, vómitos y diarrea, además de que pigmenta la piel de amarillo.

Los dos vitámeros de la vitamina D, el *ergocalciferol* o D_2 y el *colecalciferol* o D_3, ayudan a la absorción de calcio y de fósforo para la formación de huesos y su deficiencia provoca raquitismo y desmineralización de los mismos. Cabe indicar que en el organismo humano los precursores de la vitamina D se sintetizan a partir del colesterol y que se convierten propiamente en la vitamina activa en la piel por la acción de los rayos ultravioleta del Sol. La vitamina D se encuentra en el aceite de bacalao, el salmón y el huevo, y su forma sintética se añade a la leche, sobre todo en países nórdicos, para compensar su escasa insolación. En exceso causa la acumulación plasmática de calcio y la formación del fosfato correspondiente que precipita en órganos y articulaciones. La coenzima Q_{10} y la vitamina D tienen una estructura química semejante.

Los vitámeros de la vitamina E son los *tocoferoles* y los *tocotrienoles*, importantes antioxidantes celulares que neutralizan los radicales libres; su deficiencia es muy rara y se encuentran en oleaginosas, nueces y hasta en algunas verduras de color verde.

La vitamina *K* existe como *filoquinona* en el brócoli y el salvado de trigo, y como *menaquinona* producida por las bacterias del intestino grueso. Interviene en la síntesis de la protrombina, importante coagulante de la sangre, pero en exceso interfiere con medicamentos anticoagulantes. Se encuentra en una concentración de 3 μg/100 g en el hígado, de 380 a 415 en las espinacas; el brócoli es también una buena fuente, con 147 a 180 μg/100 g.

Asociada a las vitaminas está la *colina*, la L-*carnitina* y la *coenzima* Q_{10}. La primera participa en procesos metabólicos relacionados con la integridad de la membrana celular y la transmisión interneuronal; está presente en todos los seres vivos, principalmente en forma de fosfatidilcolina o lecitina, esfingomielina y acetilcolina. La L-carnitina es un derivado de los aminoácidos que acelera la oxidación de ácidos grasos y la generación de energía; su ausencia causa acumulación de tejido adiposo, se encuentra en carnes rojas, está ausente en vegetales y en forma sintética se añade a los alimentos. La coenzima Q_{10} participa en la protección oxidativa del organismo humano.

Minerales o nutrimentos inorgánicos

De todos los elementos químicos, aproximadamente 60 se han identificado en los alimentos y 25 son indispensables para el organismo humano; destacan carbono, hidrógeno,

oxígeno, nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio, sodio, cloro, potasio, hierro, zinc, cobre, flúor, yodo, selenio, manganeso, cromo y azufre. En los alimentos también se encuentran los llamados metales pesados; entre ellos mercurio, plomo, cadmio y arsénico, pero como contaminación dañina (vea en el capítulo 4 la sección Metales pesados). A excepción del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) que conforman todas las moléculas orgánicas, el resto representa de 4 a 5% del peso de una persona y por ser parte de los huesos el calcio equivale al 2% y el fósforo al 1%; muchos integran los electrolitos celulares y otros más son coenzimas. Los valores de referencia para estos nutrimentos se muestran en el anexo III.

Los minerales son nutrimentos inorgánicos importantes, pero en algunos casos deben eliminarse para poder procesar los alimentos, como ocurre al emplear secuestrantes que evitan la acción catalítica del cobre y el hierro en la rancidez oxidativa, o bien el calcio de las aguas duras que afecta el cocimiento de los vegetales.

Calcio. Los huesos están integrados por fosfato de calcio, pero también de colágeno que confiere resistencia ya que de otra manera el hueso sería tan frágil como una cáscara de huevo; el ejercicio físico estimula diversas hormonas, lo que favorece la formación ósea, tal como las vitaminas C y D, el potasio y el zinc. También participa en la transmisión nerviosa y la contracción y relajación muscular, base del movimiento de los animales. Las necesidades van desde 210 mg para niños de menos de un año, hasta 1 200 para adolescentes y 1 000 para adultos. Este requerimiento se satisface de manera genérica con el maíz nixtamalizado (la tortilla); la leche es una buena fuente ya que un vaso de 250 mL aporta 300 mg, con la virtud de que también contiene vitamina D y fósforo; en menor cantidad se encuentra en el brócoli, la acelga y el nopal. En las espinacas y en el trigo está como oxalato y fitato de calcio, respectivamente, que lo hacen poco biodisponible. En el comercio existen diferentes sales de calcio que se añaden a los alimentos: lactato, citrato, malato o glicerofosfato, cuya absorción intestinal mejora en condiciones ácidas, como las que propician los lácteos fermentados y los prebióticos por generar ácidos grasos libres.

Hierro. En su ausencia no se sintetiza la hemoglobina y esto provoca anemia; en tales condiciones el corazón debe trabajar más para distribuir el vital gas en el organismo, con el peligro de caer en problemas cardiovasculares. El hierro vegetal, por ejemplo de la acelga, la calabaza y la espinaca (1.8, 0.8 y 2.7 mg/100 g, respectivamente) es poco biodisponible comparado con el que contienen los alimentos de origen animal, sobre todo el hígado (6.8 mg/100 g); los vegetarianos estrictos pueden tener complicaciones por falta de hierro. En promedio, en la tortilla está presente en una concentración de 2.0 mg/100 g.

Cromo. Está presente en los cereales con cáscara y facilita la utilización de los azúcares para la generación de energía. El *yodo* interviene en la síntesis de la tiroxina de la glándula tiroides y su deficiencia provoca bocio y cretinismo; para evitar estos males, a la sal común se le añade 0.01% de yoduro de potasio. El *magnesio* interviene en la síntesis de proteínas y participa en la transmisión nerviosa, contrarresta el síndrome premenstrual y se encuentra en la acelga, tuna y verdolaga. El zinc o cinc es cofactor de muchas enzimas importantes y también funciona como antioxidante; el germen de trigo lo contiene hasta en 17 mg/100 g, mientras que la tortilla de maíz amarillo, en 0.9 mg/100 g.

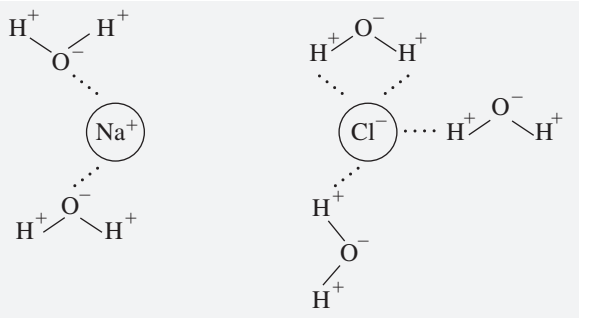
Sodio

El *sodio* y el *potasio* mantienen el pH sanguíneo y el equilibrio hídrico, participan en la conducción nerviosa y en la contracción muscular. La falta de potasio provoca calambres musculares y arritmias cardiacas; por su parte, el sodio es tan abundante que no existen problemas por carencia aunque sí muchos por su exceso.

Todos los alimentos lo contienen de manera natural, aun cuando su principal fuente es la sal común o cloruro de sodio (NaCl), adicionada en la industria o en la cocina. El contenido varía en cada producto, pero puede ser de 2.5% para los jamones, 1.6% para los bolillos o 0.4% para los nopales.

Una vez en la sangre, el sodio se hidrata fuertemente y retiene agua, lo que provoca la dilución y la reducción de la densidad del suero sanguíneo (figura 3.3); corazón, hígado y riñón deben trabajar más intensamente con un mayor volumen de líquido para poder suministrar la glucosa, el oxígeno y demás nutrimentos a los distintos órganos. En estas condiciones el corazón incrementa su presión arterial, lo que conlleva graves problemas de hipertensión. Como dato curioso, en la antigua China las personas para suicidarse consumían sal en exceso.

Figura 3.3 **Hidratación del cloruro de sodio (NaCl). El ión sodio (Na^+) interacciona con el oxígeno negativo (O^-), mientras que el ión cloruro (Cl^-) lo hace con los hidrógenos positivos (H^+).**



Por su peso molecular, el ion Na representa 39.4% del NaCl, y en consecuencia 1 g de sal proporciona 394 mg de sodio. Con base en esto, la recomendación de la OMS de 6 g/día (una cucharadita) para un adulto equivale a 2.36 g de Na, mientras que para niños sugiere 4 g de sal al día, o 1.57 g de sodio. La mayoría de la gente acepta los alimentos con una concentración de sal de 0.6 a 1.0%, aunque en México llega al límite superior, por lo que el consumo per cápita es de 10 g de sal/día, y su origen está tanto en los alimentos industrializados como en los preparados en casa.

Muchos aditivos que se utilizan en la industria contienen sodio como el benzoato, propionato, sulfito, nitrito, nitrato, glutamato, polvos para hornear y sales de curación; estas últimas impactan de manera importante los cárnicos, como los jamones.

Además de su contribución sensorial, la sal cumple otras funciones en los alimentos y esto ha hecho que resulte difícil su reemplazo en los productos industrializados; por ejemplo, actúa como conservador, en la panificación fortalece las masas, potencía el aroma y sabor de otros compuestos, etc. Entre los sustitutos más importantes que tiene están el cloruro de potasio, pero es un poco amargo y con resabio metálico, además de que el potasio en exceso puede causar problemas renales; también se cuenta con el glutamato monosódico, los hidrolizados de proteína y los extractos de levadura, todos potenciadores del sabor que actúan en los receptores del *umami*. El glutamato monosódico causa la misma sensación salina a la mitad de la concentración de sal y además, debido a su mayor peso molecular, contiene sólo 11.3% de sodio, contra 39.4% de la sal. En aras de reducir el consumo se han desarrollado nuevas tecnologías, como la modificación del tamaño y forma del cristal para incrementar su hidratación y con ello la sensación salina. Algunas especias y las espinacas, acelgas, apios y berros se perciben salados sin contener tanto sodio.

Radicales libres

Como hemos visto, para que el organismo humano funcione se requieren nutrimentos y oxígeno; los primeros se aprovechan biológicamente gracias, entre otras cosas, a que participa el segundo. Sin embargo, y contrario a esta benéfica actividad, el oxígeno produce los dañinos radicales libres que ocasionan estragos en la salud; es decir, tiene dos actividades totalmente opuestas en el cuerpo: una muy positiva y otra negativa. Además de que el organismo humano los genera internamente, también los adquiere del humo del cigarro, de la contaminación ambiental y de su exposición prolongada a los rayos UV solares.

Un radical libre es un compuesto altamente oxidante debido a que en su formación pierde electrones y su tendencia normal es reemplazarlos con los de otras moléculas a las que oxida y convierte en radicales libres; es decir, propicia una reacción en cadena igual a la de la rancidez oxidativa. Esta fuerte actividad oxidante se refleja en alteraciones celulares al modificar proteínas, enzimas, grasas y ácidos nucleicos; se generan muchas reacciones complejas cuyo resultado se ha relacionado con la aparición del cáncer, la arteriosclerosis, las cataratas, la diabetes, la demencia, la osteoporosis, el mal de Alzheimer y hasta el envejecimiento humano.

Como es de esperarse, el hombre tiene un sistema de protección natural; las células producen diferentes enzimas antioxidantes, destaca la glutatión peroxidasa, la superóxido dismutasa y la catalasa. Pero además dispone de fitoquímicos antioxidantes que se describen más adelante, como las vitaminas A, C y E, los carotenoides y los flavonoides que, al donar electrones, neutralizan los radicales libres. Cabe indicar que los antioxidantes sintéticos usados como aditivos para conservar los aceites comerciales (vea en el capítulo 7 la sección Antioxidantes) no tienen esta función biológica en el organismo.

Dietas

El término *dieta* (del latín *diaeta* o *dayta*, que significa "régimen de vida") es genérico, por lo que se puede aplicar a cualquier patrón de consumo de alimentos, pero es común que la gente la relacione más con regímenes enfocados para reducir peso. Al respecto, en los últimos años se ha propuesto una gran cantidad de dietas y muchas de ellas incluso prometen perder peso sin ningún esfuerzo. Entre las más conocidas están la de la toronja, que acelera la quema de grasas; la del Mediterráneo, a base de vegetales, aceite de oliva y pescado; la de la Zona, que restringe hidratos de carbono y proporcionalmente incrementa grasas y proteínas; la del Dr. Atkins; la de la Luna; la jugoterapia; la naturista; la macrobiótica; la vegetariana; la vegana; la ovolactovegetariana, y muchas otras.

Es un hecho que el organismo requiere muchos nutrimentos; limitar alguno puede causar problemas. Por ejemplo, restringir los hidratos de carbono provoca que las proteínas se empleen como energético en lugar de sintetizar las importantes hormonas, enzimas y músculos; las dietas ricas en grasa, sin hidratos de carbono, causan problemas, como el mal aliento (halitosis), por la formación de cetonas provenientes de la utilización de los ácidos grasos como fuente de energía.

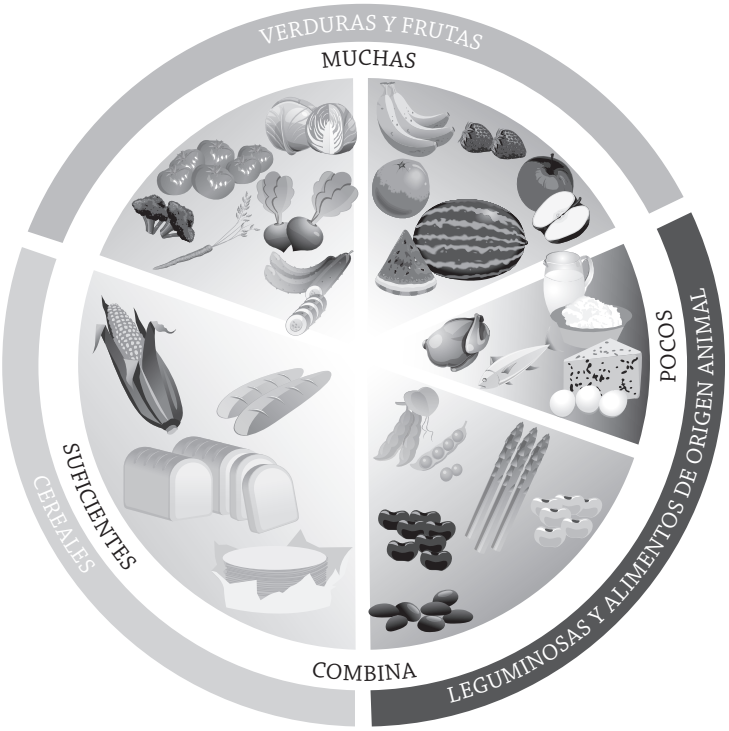
En realidad no existe una dieta ideal para toda la población; cualquiera que se emplee debe cumplir las siguientes condiciones:

- *Completa:* que incluya todos los nutrimentos.
- *Equilibrada:* que los nutrimentos guarden proporciones adecuadas entre sí.
- *Inocua:* sin agentes dañinos que enfermen al consumidor.
- *Suficiente:* que cubra la necesidad de todos los nutrimentos, de tal manera que el sujeto tenga una buena nutrición y un peso saludable.
- *Adecuada:* acorde con los gustos y la cultura de quien la consume y ajustada a su situación económica.
- *Variada:* en colores, sabores y preparaciones para cubrir todos los nutrimentos.

La Secretaría de Salud de México, a través del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, recomienda el *Plato del bien comer* (figura 3.4), una dieta saludable que divide los alimentos en tres grandes grupos, de acuerdo con su contenido nutrimental, a saber:

- *Verduras y frutas*. Deben ingerirse en abundancia, de preferencia crudas y con cáscara, porque son importante fuente de vitaminas, minerales y fibras.
- *Cereales y tubérculos*. Aportan energía en forma de almidón, principalmente tubérculos como papa y camote, pero también contribuyen con proteínas como maíz, trigo y arroz. Se recomienda combinar cereales con leguminosas para complementar sus aminoácidos.
- *Leguminosas y alimentos de origen animal*. Representan la principal fuente de proteínas; incluyen frijol, lenteja y soya, además de las carnes de res, pollo, pescado y cerdo, huevo y productos lácteos. Las oleaginosas aportan también importantes ácidos grasos insaturados.

Figura 3.4 **Plato del bien comer.**



El menú de cada tiempo de comida (desayuno, comida, cena) debe incluir un alimento de cada grupo y evitar la adición de azúcares simples y grasas.

En esa propuesta, cada grupo impacta la salud de forma diferente, de acuerdo con la recomendación de otras agencias internacionales en cuanto a incluir siempre de 5 a 7 porciones de vegetales al día; más verduras que frutas, por el alto contenido de azúcares de estas últimas, lo que equivale a unos 400 g de vegetales que, por ser ricos en fibras y fitoquímicos y bajos en grasas y sodio, previenen el Síndrome Metabólico.

Alimentos "chatarra"

También conocidos por su alto valor calórico, estos productos reciben ese nombre de una traducción del inglés *yunk foods,* aunque no hay una definición precisa para ellos; tradicionalmente se han identificado como de escaso valor nutricional y por provocar obesidad, diabetes y otros males relacionados con el Síndrome Metabólico debido a sus elevados contenidos de azúcar, grasa y sodio. Esta categoría incluye papas fritas, hamburguesas, refrescos, pastelitos y otras botanas dulces y saladas que generan dependencia, dado que actúan en el sistema de "recompensas" del cerebro, responsable de las adicciones: la secreción de dopamina contribuye al efecto placentero que causa su consumo.

Cabe aclarar que, en estricto sentido no hay alimentos *buenos* o *malos,* debido a que incluso los denominados "chatarra" proporcionan algunos nutrimentos. Vistos desde esa perspectiva no deberían considerarse dañinos. En realidad, el verdadero problema son las "dietas malas", que bien pueden llamarse "dietas chatarra", debido a que incluyen un consumo elevado y permanente de esos alimentos y propician desequilibrios nutrimentales, como desbalances energéticos por una ingesta excesiva de calorías, además de que el sedentarismo del individuo contribuye de manera muy importante. Las condiciones y estilos de la vida actual, caracterizados por un *ambiente obesogénico,* son la causa principal de que se ingieran con demasiada frecuencia por su disponibilidad, practicidad, sabor, higiene, etc.; en décadas pasadas su consumo era ocasional. En el extremo del consumo, tanto los alimentos *chatarra,* como los *no chatarra* (por ejemplo huevo y carne), pueden causar enfermedades, especialmente si son preparados con mucha grasa, azúcar o sal.

Fitoquímicos

Los alimentos en forma natural contienen agentes bioactivos que afectan el organismo humano, en algunos casos positivamente como los fitoquímicos, y en otras de forma negativa como los factores antinutricionales que más adelante revisaremos. Los fitoquímicos (del griego *fito*, planta) reciben también el nombre de fitonutrimentos y son compuestos propios del reino vegetal entre los que destacan los carotenoides, polifenoles, glucosinolatos, fitoesteroles, índoles y terpenos.

Es importante aclarar que su función biológica no siempre está avalada por estudios clínicos y su efectividad sólo ha sido comprobada a nivel celular; en consecuencia, resulta difícil extrapolar estos resultados en el hombre. En otros casos, para que produzcan un efecto positivo se requiere ingerirlos en una gran concentración, que por lo general no está presente en una dieta común. Pese a ello, es un hecho que en los últimos años han recibido mucha atención y hasta los expendedores callejeros "recetan" jugos de verduras y frutas para curar males específicos gracias a los fitoquímicos. A continuación se describen los más importantes, pero con la reserva de que su efectividad no está del todo comprobada.

Muchos fitoquímicos son antioxidantes naturales, es decir, neutralizan los radicales libres con una potencia que se mide con el índice ORAC (del inglés *Oxygen Radical Absorbance Capacity*) o capacidad de absorción de radicales oxígeno. Así, el orégano deshidratado tiene un ORAC muy alto, de 175 000, mientras que en la fresa, el brócoli, la uva roja y el rábano es de 4 300, 3 000, 2 000 y 1 700, respectivamente.

Debido a su estructura insaturada, los *carotenoides* funcionan como antioxidantes al oxidarse pero sin haberse convertido en radicales libres y sin haber propagado la reacción. Destaca el β-caroteno de la zanahoria, que también es la principal provitamina A; el licopeno rojo del jitomate, que previene el cáncer de próstata e incrementa la tersura de la piel, y la luteína amarilla de la naranja, la espinaca y el brócoli (no se observa por la presencia de clorofila), pero que protege la piel contra los rayos UV solares, previene la degradación macular o ceguera asociada con la edad y evita el cáncer de colon. Otros carotenoides incluyen la criptoxantina, zeaxantina y astaxantina. Por la amplia gama de carotenoides y

sus distintas funciones y colores, se recomienda consumir muchos vegetales de diferentes tonalidades en una ensalada que evoque el arco iris o las pinturas de artistas como Picasso o Kandinsky.

Los *polifenoles* incluyen muchos compuestos, entre los que destacan los flavonoides (isoflavonas, antocianinas y taninos) y los lignanos, que en general tienen efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos. Como caso específico, la genisteina de la soya es una isoflavona que incrementa los estrógenos en la menopausia, y por ello se le atribuyen virtudes como la de controlar el cáncer hormonodependiente de mama y próstata, así como la posible disminución de la osteoporosis en mujeres postmenopáusicas. Los polifenoles de la canela pueden reducir el colesterol y controlar la presión arterial. Al hidroxitirosol y al tirosol de la oliva se les adjudican algunos beneficios de la dieta del Mediterráneo por su efecto cardioprotector. El resveratrol de la piel y la semilla de la uva roja, regula la presión sanguínea y al parecer evita la oxidación de neuronas y previene el mal de Alzheimer al inhibir la formación de la proteína β-amiloide. Los polifenoles del chocolate oscuro y el té negro previenen la oxidación del colesterol y estimulan el sistema inmunológico. Las hojas del ginkgo biloba contienen polifenoles que favorecen la irrigación sanguínea, mejoran la memoria, aumentan la disponibilidad de oxígeno y evitan trastornos cognoscitivos. Cabe indicar que, en exceso, los polifenoles forman un complejo con el hierro y reducen su biodisponibilidad; por ello los bebedores de grandes cantidades de té negro o de vino tinto pueden desarrollar anemia.

Las *antocianinas,* presentes en uva, fresa, frambuesa, manzana, rábano, arándano, té verde, cebolla morada, etc., pueden regular la glucosa sanguínea, proteger contra la cardiopatía coronaria y la hipertensión y tener un efecto antiinflamatorio.

Los *taninos*, también referidos como ácido elágico, son polifenoles responsables de la astringencia del membrillo, la uva, el té verde y las fresas.

Los *lignanos* (no confundir con la lignina) como el enterodiol y la enterolactona, son metabolitos secundarios de las semillas de calabaza, lino o linaza, ajonjolí y soya, salvado de trigo, cebada y avena, que están relacionados con la fenilalanina y funcionan como fitoestrógenos

Los *glucosinolatos* son derivados de la glucosa que llevan azufre en su molécula y a partir de ellos se producen los isotiocianatos, responsables del aroma y picor de las crucíferas; el sulforafano del brócoli y la alicina del ajo son antioxidantes que actúan contra el cáncer de estómago, previenen enfermedades cardiovasculares e inhiben la absorción de colesterol y glucosa.

Los principales *fitosteroles* incluyen el sitosterol, campesterol y estigmasterol y, a diferencia del colesterol, no se absorben en el tracto gastrointestinal; de hecho, su capacidad anticolesterolémica se debe a su estructura química semejante a la del colesterol, misma que compite y bloquea la absorción en el tracto gastrointestinal. Se encuentran en la soya y comercialmente se obtienen de la refinación de su aceite; para óptimos resultados, se recomienda un consumo de 300 a 500 mg de fitosteroles por día, junto con los alimentos que contienen colesterol.

Uno de los *indoles* más importantes es el indol-3-carbinol de las crucíferas, cuya principal función es desactivar los estrógenos causantes de cáncer de mama. Los *terpenos* son

responsables del aroma y sabor de cítricos y otras frutas, y también tienen un efecto antioxidante.

Además de estos fitoquímicos existen otros como el sorbitol de las ciruelas y las peras, que tienen un efecto laxante y evitan el estreñimiento, así como los del arándano que previenen las infecciones urinarias.

Nutracéuticos

Este término acuñado en 1990, deriva de la conjunción de las palabras nutrición y farmacéutico. Se refiere a compuestos cuyo consumo beneficia la salud del humano, y en este sentido se deben incluir los fitoquímicos. Los nutracéuticos pueden estar presentes de manera natural en los alimentos o bien sintetizarse químicamente y emplearse como aditivos. Comercialmente se encuentran en forma de polvos, líquidos, microencapsulados y nanoencapsulados; estos últimos son partículas menores de 100 nanómetros (nm) cuyo agente activo es altamente biodisponible y se libera por la acción de secreciones específicas del organismo en un proceso llamado nanoterapia (1,000 nm = 1 micra, o 1/8 000 del diámetro de un cabello).

Tal como sucede con los fitoquímicos, los beneficios de muchos nutracéuticos no están todavía totalmente comprobados y en otros casos sólo se obtienen con megadosis que no siempre se pueden consumir. Al producto añadido de estos compuestos se le conoce como *alimento nutracéutico* o *alimento funcional*.

A continuación se describen los nutracéuticos que en los últimos años han acaparado la atención, aun cuando su efectividad no esté avalada por estudios científicos.

El grupo de antioxidantes tiene especial relevancia e incluye las vitaminas A, C y E, el ácido alfa-lipóico, el extracto de guaraná, manganeso, zinc y selenio. Este último se encuentra de forma natural en levaduras y nueces y participa como Se-Met (selenio-metionina) en la glutatión peroxidasa, enzima que inactiva los radicales libres; además, combate la depresión y, junto con los omega-3, el ácido fólico y la vitamina B_6, inhibe la formación de la homocisteína.

La reducción del colesterol y la salud cardiovascular la promueven los ácidos linoleico, linolénico, EPA, DPA y DHA, la niacina y las fibras, incluyendo el β-glucano de la cebada, de la avena y del lino; en este último se encuentra como un polisacárido soluble que reduce la glucosa y el colesterol. Los omega-3 se obtienen de los aceites de peces de aguas frías, o bien de algunas algas.

Las células nerviosas mejoran su función con el ácido gama aminobutírico, la colina y el inositol, lo que se refleja en una mayor capacidad mental y cognitiva. La colina forma parte del neurotransmisor acetilcolina y de la fosfatidilcolina o lecitina, presente en la mielina que cubre los nervios; el inositol, llamado también vitamina B_8, abunda en el corazón y el cerebro y participa en la síntesis de neurotransmisores.

La coenzima Q_{10} o ubiquinona, cuya estructura es semejante a la vitamina D, es antioxidante y favorece el aprovechamiento de la energía metabólica (no confundir con el término Q_{10},). El picolinato de cromo contribuye a la reducción de peso al facilitar la acti-

vidad de la insulina y la oxidación de la glucosa. Por su parte, el ácido linolénico convierte la grasa en músculos y la betaína (trimetilglicina) los fortalece. La glucosamina y el sulfato de condroitina estimulan la formación de cartílago y reducen la artrosis.

La L-carnitina propicia la oxidación de la grasa y reduce la acumulación del ácido láctico sintetizado con el ejercicio intenso, responsable de la fatiga. La taurina se aisló por primera vez del toro, es un derivado de la cisteína que se encuentra en bilis, carne y leche y, junto con la cafeína y la L-carnitina, se añade a bebidas energéticas para mejorar la función cardiaca y aprovechar la energía muscular que aminora la fatiga.

La ribosa se adiciona dado que forma parte de los ácidos nucleicos y propicia la síntesis de ATP. A la glucuronolactona se le atribuye una acción desintoxicante en el organismo. La lactulosa acelera los movimientos intestinales y reduce el tiempo del alimento en el sistema digestivo.

Por el efecto benéfico de sus aminoácidos, diversas proteínas se utilizan como nutracéuticos. La α-lactoalbúmina es rica en triptófano, un precursor de la niacina, de la hormona melatonina y del neurotransmisor serotonina; a esta última se le adjudica un efecto potenciador de la felicidad y de reducir la ansiedad y el insomnio. La leucina de la clara de huevo y de la leche fortifica la masa muscular de los atletas. Otras proteínas incluyen el colágeno para sintetizar el tejido conectivo, las de soya, del alga fucus, de la alfalfa y de la espirulina; en las dos últimas la proteína se encuentra hasta en 65%, además de que contienen clorofila, que mejora la oxigenación del organismo.

Para el sistema óseo se emplea citrato, malato o glicerofosfato de calcio por su alta solubilidad y biodisponibilidad; mejores resultados se obtienen al adicionar el calcio junto con las vitaminas C, D y el boro.

Las bebidas energizantes basan su efecto en la cafeína, la taurina, la L-carnitina y las vitaminas del grupo B; los llamados *shots* contienen estos mismos compuestos pero en mayor concentración. En muchos casos se abusa de la cafeína, hecho que puede resultar peligroso y que se añade en forma sintética o a través de productos que la contienen. Se recomienda no consumir más de 165 mg de cafeína al día, pero algunas bebidas disponibles en el mercado la tienen hasta en 1 g/litro; es decir, un vaso con 250 mL tiene 250 mg de cafeína. El guaraná (llamada en este caso guaranina) la contiene hasta en 7%, contra sólo el 2% del grano del café.

Alimentos funcionales

Este término, acuñado en la década de 1980, no tiene una clara definición y se usa como equivalente de alimento nutracéutico (no confundir con las propiedades funcionales de las proteínas). Son productos elaborados por la adición de nutracéuticos y otros ingredientes como probióticos y prebióticos, o por la eliminación de alguno dañino, como ocurre con la leche deslactosada, los panes sin gluten, los reducidos en grasa, colesterol, azúcares y sodio, etc., que ayudan a evitar las enfermedades crónicas degenerativas (diabetes, cardiovasculates, etc.). Es decir, son alimentos que promueven la salud, siempre y cuando la modificación tenga un efecto comprobado, para lo cual debe considerarse la cantidad consumida y, en el caso de los agentes añadidos, su biodisponibilidad.

Como extensión de este principio se han desarrollado los *cosmecéuticos*, alimentos funcionales que trabajan desde el interior del organismo para inducir la belleza exterior; esta categoría incluye las barras de cereales y los yogures adicionados con carotenoides, colágeno, ácido hialurónico, hidratantes de la piel y otros agentes que evitan las arrugas y el envejecimiento provocado por los radicales libres.

Intolerancias y alergias

La intolerancia es la incapacidad genética de metabolizar determinados nutrimentos por falta de enzimas específicas; la más común es la lactosa por la ausencia de la enzima lactasa o β-galactosidasa del intestino delgado, encargada de hidrolizar el disacárido en sus respectivos monosacáridos. En estas condiciones, la lactosa llega al intestino grueso donde la microflora nativa la fermenta (como sucede con los azúcares promotores de la flatulencia) y produce hidrógeno, CO_2 y ácido láctico que irritan y provocan diarrea, meteorismo y calambres abdominales. Debido a que la actividad de la lactasa se pierde con la edad, aproximadamente 75% de los adultos no la tiene, de modo que se les recomienda consumir lácteos fermentados, yogurt o quesos, porque los lactobacilos utilizan 20 a 30% de la lactosa para producir ácido láctico (igual que las leches deslactosadas con sólo 10% del contenido original de lactosa), o añadir o consumir la lactasa comercial unos minutos antes de ingerir leche.

Otras intolerancias menos comunes incluyen a la fructosa, la tirosina (alcaptonuria) y la fenilalanina; en esta última no se metaboliza el aminoácido y por ello el aspartamo no es recomendado para los fenilcetonúricos.

Por su parte, la alergia es una hipersensibilidad que se desarrolla como una respuesta violenta del sistema inmunológico al confundir un compuesto con microorganismos peligrosos. Los agentes responsables son antígenos llamados alérgenos, muchos de naturaleza proteínica y que, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM 051 incluye los siguientes:

1. Cereales que contienen gluten, por ejemplo trigo, centeno, cebada, avena, espelta y productos derivados.
2. Crustáceos y sus productos.
3. Huevos y productos derivados.
4. Pescados y productos pesqueros.
5. Cacahuate y sus productos.
6. Soya y sus productos, excepto su aceite.
7. Leche y productos lácteos.
8. Nueces de árboles y sus derivados.
9. Sulfitos en concentración de 10 mg/kg o más.

Ejemplos de alérgenos son el gluten del trigo, la β-lactoglobulina y las caseínas de la leche, la tropomiosina de camarones, ostiones y langostas, y la ovoalbúmina de la yema

del huevo. Estas proteínas tienen la peculiaridad de reaccionar con los anticuerpos o inmunoglobulinas IgE y producir histamina; el resultado es la anafilaxia que conlleva hormigueo, picazón, erupciones en la piel, inflamación de boca y garganta, asma y cambios de la presión arterial y el ritmo cardiaco en un lapso de pocos minutos; en casos extremos puede producirse la muerte. Se considera que 3% de la población adulta y 8% de la infantil presentan problemas de alergias y que de 2 a 3% de los niños las experimentan con la leche de vaca en su primer año de vida.

Las alergias a la leche y al huevo en general desaparecen con el crecimiento, mientras que las de leguminosas, cereales, nueces, mariscos y pescados permanecen toda la vida. El aceite de soya no se incluye porque en su refinación se destruye todo vestigio de proteína. La leche pierde su capacidad alergénica con un fuerte calentamiento que desnaturalice la β-lactoglobulina, como ocurre con las leches evaporada y concentrada, pero no con la pasteurizada o con quesos y yogures.

El término celiaquía proviene del griego *koliakos*, usado siglos atrás para referirse a "los que sufren del intestino". Es una enfermedad del sistema inmunológico caracterizada por una inflamación de la parte distal del intestino delgado, ocasionada por el consumo de la gliadina de trigo, centeno, cebada, avena y espelta. Este trastorno se presenta en personas de cualquier edad genéticamente predispuestas por herencia. Los anticuerpos desarrollados contra la gliadina del gluten atacan y reducen las vellosidades del intestino delgado encargadas de la absorción de nutrimentos, causan diarrea, dolor abdominal, desnutrición, avitaminosis y aun retraso en el crecimiento. Entre los productos que no contienen gluten y que se recomiendan a celiacos están el maíz, arroz, amaranto y sorgo; además, existen en el mercado panes, pastas y galletas elaborados con mezclas de almidones modificados y celulosa que sustituyen el gluten.

Algunos fabricantes incluyen una leyenda precautoria en la etiqueta de sus productos cuando comparten una línea de producción para alimentos con alergenos y sin ellos, por ejemplo "elaborado en equipo donde se procesan productos que contienen soya, trigo, etc.". Esto es muy importante para personas altamente sensibles, por lo que deben leer las etiquetas antes de consumir un alimento.

Aunque en menor proporción, también pueden causar alergias el melón, el durazno, la manzana, la zanahoria, la fresa, el jitomate y el kiwi frescos. La de la manzana aumenta con el almacenamiento de la fruta, pero la proteína responsable se desnaturaliza con la cocción, igual que con la zanahoria y otros vegetales. La trehalosa de los champiñones es responsable de la intolerancia que tienen algunas personas a estos productos, mientras que el colorante tartracina también la propicia.

Información en las etiquetas de los alimentos

En las etiquetas los fabricantes comunican las características de sus productos; con base en esa información el consumidor determina la conveniencia de comprarlos, usarlos y

conservarlos. El contenido neto es el peso en gramos o en kilogramos, sin el envase; cuando aplica, la masa drenada es el peso después de eliminar el líquido de cobertura, sea una salmuera o un jarabe que ayudan a incrementar la vida en anaquel de los productos. Las indicaciones de almacenamiento son importantes para evitar riesgos y sorpresas, por ejemplo: "refrigérese después de abrir", "guárdese en un lugar fresco y seco", "agite antes de servir", etcétera.

De acuerdo con la Norma 051 de etiquetado, la fecha de caducidad es *la fecha límite en que se considera que las características sanitarias y de calidad que debe reunir un producto preenvasado y almacenado para su consumo en las condiciones sugeridas por el responsable del producto, se reducen o eliminan de tal manera que después de esta fecha no debe comercializarse ni consumirse*. Con todo, el fabricante siempre aplica un margen de seguridad, de modo que consumir un producto al día siguiente de su caducidad no conlleva riesgo de enfermedad. Por su parte, la fecha de consumo preferente es *la fecha en que, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, expira el periodo durante el cual el producto preenvasado es comercializable y mantiene las cualidades específicas que se le atribuyen tácita o explícitamente, pero después de la cual el producto preenvasado puede ser consumido*. Un producto con fecha de consumo preferente caducada no puede comercializarse, pero sí consumirse si no muestra algún daño.

El listado de ingredientes aparece en orden cuantitativo decreciente; así, el primero es el más abundante. La *información nutrimental* se calcula con base en una determinada cantidad de producto; es decir, por un definido tamaño de porción, por 100 g o por el total del envase. El primer caso se refiere a una cantidad hipotética que usaría el consumidor promedio, como 30 g de cereal, 10 g de mayonesa o 20 g de mermelada, pero que puede variar entre las personas. La que se basa en 100 g es una fórmula porcentual, más sencilla de entender pero que no necesariamente corresponde a lo que se ingiere, ya que puede resultar muy grande para muchos productos. La última es cuando se trata de porciones individuales, una barra de cereal de 30 g o un jugo de 200 mL (cuadro 3.2).

El contenido energético se expresa en kilocalorías (kcal) o Cal y en kilojoules (kJ), y todos los demás en términos de peso como gramos (g) o miligramos (mg). Se incluyen los tres principales macronutrimentos: proteínas, grasas y carbohidratos, además de colesterol, sodio y vitaminas.

El grupo de lípidos se divide en grasas saturadas, poliinsaturadas, omega-3, monoinsaturadas y *trans*; en cuanto a los carbohidratos, se incluyen los azucares y la fibra dietética.

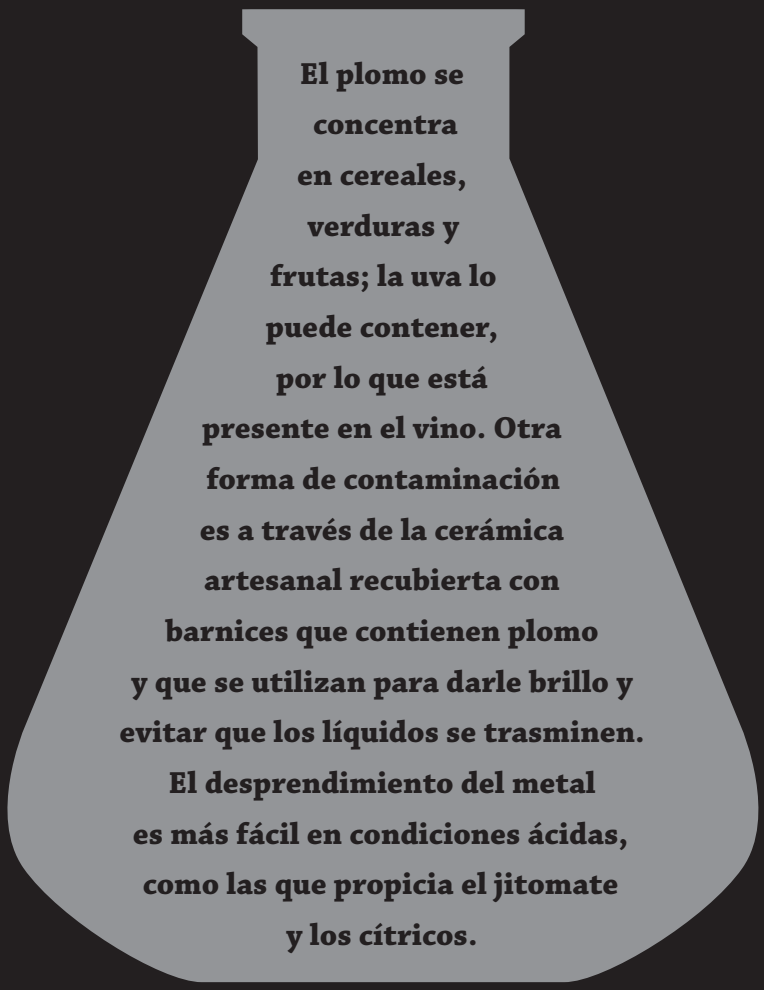
De acuerdo con la Norma 051, para plasmar en la etiqueta los contenidos de estos nutrimentos se aplican las reglas de redondeo que se indican en el anexo IV.

La legislación contempla el uso de denominaciones como *libre*, *sin*, *bajo* y *reducido* para grasas, azúcar y sodio. No se incluye el término *light,* sin embargo las empresas lo utilizan como parte integral de sus marcas registradas; eso significa que muchos productos *light* no necesariamente son bajos en calorías, pero pueden serlo en azúcar o

Cuadro 3.2 **Información nutrimental en una etiqueta.**

Información nutrimental Tamaño de la porción: g Número de porciones:	Por porción
Contenido energético	Cal (kJ)
Proteínas	g
Grasas (lípidos)	g
Grasa saturada	g
Grasa poliinsaturada	g
Omega-3	g
Grasa monoinsaturada	g
Ácidos grasos trans	g
Colesterol	g
Carbohidratos (hidratos de carbono)	g
Azúcares	g
Fibra dietética	g
Sodio	mg
Vitaminas	% de VNR

sodio, por lo que también es importante leer e interpretar la etiqueta. Se contempla indicar atributos como *fortificado, enriquecido* o *restaurado* cuando se adicionan vitaminas y minerales, o bien declarados como fuente o alto contenido de estos nutrimentos con relación al consumo recomendado.


El plomo se
concentra
en cereales,
verduras y
frutas; la uva lo
puede contener,
por lo que está
presente en el vino. Otra
forma de contaminación
es a través de la cerámica
artesanal recubierta con
barnices que contienen plomo
y que se utilizan para darle brillo y
evitar que los líquidos se trasminen.
El desprendimiento del metal
es más fácil en condiciones ácidas,
como las que propicia el jitomate
y los cítricos.

4

Presencia de agentes dañinos en los alimentos

Además de contener nutrimentos en forma biodisponible y ser atractivos en términos de color, sabor, etc., los alimentos deben ser inocuos, es decir, carentes de agentes deletéreos causantes de problemas de salud en quien los consuma.

Es importante aclarar que la toxicidad de cualquier compuesto depende de la cantidad ingerida, como atinadamente afirmó Paracelso, médico y maestro alquimista, hace 450 años: *Todo es veneno. No hay nada que no lo sea. Solamente la dosis hace que una cosa se vuelva venenosa. Cualquier alimento y cualquier bebida que se tome en cantidad mayor que dicha dosis es un veneno.* Este principio sigue vigente y lo avalan instituciones y organismos internacionales de salud que incluso consideran dañino el consumo excesivo de agua.

La toxicología es un área del conocimiento muy compleja y tiene muchas limitaciones para generar la información apropiada en tiempo y forma. Se siguen realizando ensayos de toxicidad en roedores y los resultados que se obtienen se extrapolan al hombre, siempre referidos a 1 kg de peso; así, una dosis tóxica de 2 mg/kg significa que una persona de 70 kg no debería consumir más de 140 mg. Este procedimiento deja dudas, pero no hay muchas opciones de tener estudios más confiables.

La toxicidad puede ser *aguda,* cuando el individuo se expone a una fuerte y única dosis, o *crónica*, con menor dosis pero por largos periodos; esta última generalmente se emplea con los animales de prueba, pero por un tiempo restringido debido a la corta vida del propio animal. El efecto de los tóxicos se refleja de diferentes formas: de *mutágeno*, que altera o muta las células; de

teratógeno, que afecta los fetos y causa deformación congénita, o de *cancerígeno*, que induce el cáncer.

Los agentes dañinos que contienen los alimentos poseen una variada naturaleza química pero son causantes de enfermedades, algunas de poca importancia y otras fatales. Se presentan a través de los siguientes cuatro mecanismos:

1. Contaminación accidental.
2. Tóxicos naturales y factores antinutricionales.
3. Contaminación intencional o adulteración.
4. Síntesis de sustancias tóxicas por altas temperaturas.

La contaminación ocurre en cada etapa de la cadena alimentaria; es decir, desde el productor primario hasta la preparación en el hogar o en el restaurante; por su parte, de forma natural algunos vegetales tienen sustancias con potencial tóxico que les sirven como protección contra los depredadores y otros más pueden producirse al preparar alimentos.

Al analizar la cantidad de compuestos con potencial tóxico y los mecanismos de su generación, parecería que comer es un acto temerario que implica mucho riesgo; por supuesto no se trata de eso y debe recordarse que la toxicidad depende de la cantidad ingerida y que la extrapolación de los estudios con animales al hombre tiene muchas limitaciones.

Contaminación accidental

Se debe a agentes físicos, químicos o biológicos que están presentes en los alimentos por negligencia, descuido o ignorancia en alguna de las etapas de la cadena alimentaria, pero que se pueden evitar si se aplican estrictas medidas de control. De estas tres, la contaminación biológica es la única que se reduce con el calentamiento, enfriamiento y otros métodos de conservación, incluidos los aditivos.

Contaminación física

Se debe a materiales provenientes de la industria o de la propia cocina, como pelos de algún animal (roedores, perros) o de humanos, tornillos de los equipos, grapas de las cajas de cartón, trozos de huesos, semillas de frutas, pedazos de plástico de las envolturas, piedras en los frijoles e incluso vidrios. Cada uno afecta de forma distinta: un tornillo provoca la ruptura de muelas, el plástico la asfixia, y los vidrios pueden producir hasta la muerte. Los pedazos grandes pueden ser visibles, pero los muy pequeños no se perciben y pueden llegar a causar rasgado y corte de los tejidos internos; por ello se emplean rayos X para su identificación en las líneas industriales de producción.

Contaminación química

Además de los aproximadamente 800 000 compuestos que el hombre ingiere al día con una dieta variada en sus tres comidas, también está sujeto a la ingesta de muchos otros provenientes de la contaminación ambiental, del humo del tabaco, de la flora, la fauna, los perfumes, etc.; con este espectro tan amplio de químicos, algunas personas propensas desarrollan determinados malestares agrupados en el llamado *Síndrome de Sensibilidad Química Múltiple*.

Esta contaminación se refiere a la presencia de compuestos que no son propios de los alimentos y provienen de una manipulación deficiente o accidental en la cadena alimentaria. Por su relevancia destaca el caso del aceite de colza, que se registró en España en 1981. Se descubrió que ese aceite estaba contaminado con anilinas y otros químicos, lo que produjo la muerte de más de 700 personas y daños a más de 20 000. Asimismo, en 1999 fallecieron en Perú varios niños al consumir leche con paratión, un potente plaguicida. Los efectos nocivos ocasionados en los productos marinos por el derrame de petróleo en el Golfo de México en 2010 seguramente se verán reflejados en los próximos años**.**

Los casos anteriores son macrocontaminaciones muy notorias, pero no hay que olvidar que existen otras que se producen de forma cotidiana en la producción y procesamiento de los alimentos; por su importancia destacan aquellas que involucran plaguicidas, metales pesados, hormonas y antibióticos.

Plaguicidas

Son compuestos altamente tóxicos empleados para combatir insectos, ácaros, pulgones, bacterias y hongos; todos ellos organismos que compiten con el hombre por alimento. Existen los organoclorados (DDT, aldrín, endrín, clorotalonil), organofosforados (malatión, paratión), carbamatos (carbaril), nicotinoides y piretroides (permetrina), cada uno diseñado contra una plaga específica. Su manejo y aplicación debe hacerse profesionalmente de acuerdo con las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para evitar riesgos en el agricultor, el consumidor y el medio ambiente.

Las BPA implican acatar las recomendaciones de dosis, frecuencia y, sobre todo, los lapsos entre la última aplicación y la cosecha; este último factor es muy importante ya que es el tiempo requerido para que los plaguicidas se destruyan de forma natural con el sol y el oxígeno del aire, y así asegurar su ausencia en el producto recolectado. Con base en este principio técnico existen todas las posibilidades de aplicarlos para controlar las plagas y no tenerlos en los vegetales que llegan a la mesa.

Muchos plaguicidas originalmente no tienen aroma, pero el fabricante les añade uno para identificarlos, tal como ocurre con el gas de uso doméstico, al que se le adicionan

mercaptanos. Algunos son de contacto, lo que significa que se absorben a través de la piel; pueden estar presentes en frutas y verduras, pero también en la leche y la carne producidas con piensos contaminados; por ser liposolubles, animales y humanos los almacenan en el tejido adiposo (por esta razón las mujeres los almacenan en mayor proporción que los hombres).

Sus efectos en el organismo son muy variados, así como la dosis dañina. Los organofosforados y los carbamatos inhiben la colinesterasa que interviene en la transmisión nerviosa o sinapsis, y ocasionan una mala coordinación muscular; su consumo se relaciona con el cáncer, el mal de Parkinson e incluso la muerte. Por ejemplo, la dosis letal del cloropirifos es de aproximadamente 270 mg/kg, es decir, 18.9 g para un hombre de 70 kg; mientras que la de la permitrina es de 1 200 mg/kg; ambos se usan en el jitomate, el chile jalapeño, la cebolla y el cilantro.

Dado que son liposolubles, se eliminan durante el lavado de los vegetales con detergente; sin embargo, cuando éstos se enceran, los plaguicidas quedan atrapados bajo la capa de cera y permanecen aún después de lavarlos.

Metales pesados

Se denomina así a ciertos metales como el mercurio, plomo, cadmio y arsénico; elementos químicos tóxicos que llegan a los vegetales por el agua de riego, la tierra de cultivo y los fertilizantes aplicados, pero también a través de los animales alimentados con piensos contaminados.

Los desechos industriales que contaminan mares, ríos y lagos provocan que los peces acumulen mercurio en sus tejidos. Uno de los casos más representativos de intoxicación de este tipo ocurrió en 1952 en la bahía de Minamata, en Japón: pescados con alta concentración de mercurio causaron graves problemas de salud en la población. Este metal es teratogénico y en forma de metilmercurio es un potente neurotóxico cuya ingesta máxima permitida es de 5 μg/kg de peso por semana; es decir, 350 μg para un adulto de 70 kg en siete días. El contenido del metal varía entre peces y zonas de crecimiento y de pesca. Por ejemplo, para el atún se ha calculado entre 0.3 y 1 ppm. Tomando como base la contaminación máxima de 1 ppm (1 000 μg/kg) esto significa que una persona llega al límite permitido si consume 350 g de atún a la semana.

El plomo se concentra en cereales, verduras y frutas; la uva lo puede contener, por lo que está presente en el vino. Otra forma de contaminación es a través de la cerámica artesanal recubierta con barnices que contienen plomo y que se utilizan para darle brillo y evitar que los líquidos se trasminen. El desprendimiento del metal es más fácil en condiciones ácidas, como las que propicia el jitomate y los cítricos. Para evitar el plomo, se recomienda usar recipientes de barro vidriado certificado libre del metal. La plumbosis o saturnismo es la intoxicación con plomo (los antiguos alquimistas lo llamaban Saturno) y algunos estudiosos afirman que Beethoven la padeció y fue causa de su sordera. El metal es neurotóxico, bloquea la síntesis de hemoglobina, altera el transporte de oxígeno, produce vómito, depresión, parálisis de extremidades e incluso la muerte; en los niños es

responsable de lento aprendizaje. Para evitar éstos y otros problemas se recomienda no consumir más de 25 μg por kilogramo de peso a la semana.

El cadmio se puede encontrar en algunos vegetales y en los ostiones; en altas concentraciones causa daños al sistema reproductor en el ser humano, e incluso cáncer, por lo que se recomienda no exceder 7 μg por kilogramo de peso a la semana.

El arsénico se presenta en dos formas químicas: inorgánica y orgánica. La primera, más tóxica, puede llegar a la cebada y por ende a la cerveza, pero también al pescado y a las verduras; se concentra en la queratina del pelo y en las uñas. Se sugiere un consumo máximo de 15 μg/kg de peso a la semana. Por su parte, el organismo humano elimina el arsénico orgánico de forma natural.

Otros contaminantes químicos

Además de los anteriores, otros contaminantes son:

a) *Hormonas y antibióticos* que se encuentran en la carne o la leche por una indebida aplicación (y que revisaremos más adelante).
b) *Dioxinas*, grupo de sustancias liposolubles producidas por la combustión de compuestos clorados como plásticos, disolventes y refrigerantes, y que llegan a los alimentos a través del aire; se almacenan en el tejido adiposo de los animales y se les atribuye un potente efecto cancerígeno.
c) *Material desprendido de los envases*, como los monómeros de los plásticos, las tintas y, principalmente, el bisfenol A (*BPA* por sus siglas en inglés) de los recubrimientos epoxi de las latas y del policarbonato de los biberones. El calentamiento acelera la migración del BPA y su consumo se ha relacionado con problemas endócrinos y algunos cánceres.
d) *Jabones, detergentes y sanitizantes* que llegan a los alimentos por un mal enjuague de las líneas de producción o de los utensilios de cocina. Su efecto es muy variado y puede ser nulo o causar vómitos y diarreas.
e) *Lubricantes de las líneas de producción industrial*, aun cuando por norma sanitaria deben emplearse los sintéticos de grado alimenticio y no los minerales.

Contaminación biológica

De las tres formas de contaminación accidental, la biológica es la más importante y común, y es causada por bacterias, hongos, levaduras, protozoos, lombrices, virus y priones. La actividad de estos agentes se refleja en los alimentos de dos formas:

Aquella que los altera, *echa a perder* o *pudre*, pero que no causa daño a la salud aun si se consumen en ese estado; es decir, representa un problema de calidad pero no de inocuidad. Este mecanismo es responsable de la pérdida de aproximadamente 20% de los alimentos en el mundo, debido a que genera olores, sabores, colores y texturas desagradables; se debe a bacterias, hongos y levaduras no patógenas.

Aquella que involucra patógenos, cuyo crecimiento y desarrollo es responsable de las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) y se debe a bacterias, hongos, protozoos, lombrices, virus y priones. Es muy peligrosa ya que por lo general el agente dañino no echa a perder el alimento, además de que no se identifica de inmediato la cantidad ni la fecha de ingestión, y en consecuencia el tratamiento médico no siempre es asertivo.

El efecto patogénico de estos agentes biológicos se ha comprobado en muchas ocasiones a lo largo de la historia. Las epidemias de tifoidea o de cólera en la Europa medieval arrasaban con pueblos enteros y eran atribuibles al castigo de los dioses porque entonces no se conocía la existencia de estos seres microscópicos; sino hasta que Louis Pasteur los descubrió en 1850 al trabajar con el vino.

Cabe mencionar que no todas las bacterias, hongos y levaduras son dañinas ni echan a perder los alimentos o causan ETA; en realidad, la mayoría de estos microorganismos son benéficos: ayudan al proceso digestivo y se emplean para fabricar quesos, yogures, panes, cerveza, antibióticos y otros productos fermentados.

Las contaminaciones biológicas más comunes son las producidas por las bacterias que se encuentran diseminadas en todo lo que rodea al hombre: agua, tierra, aire, plantas y animales. El músculo intacto de un animal sano está exento de cualquier contaminación, pero inmediatamente después del sacrificio se plaga de bacterias presentes en el aire, así como en el pelo y piel del propio animal, y en las manos y el cuchillo del manipulador. Lo mismo ocurre en el hogar y en el restaurante al dejar los alimentos a la intemperie; incluso cuando un niño introduce una cuchara chupada al frasco de mermelada la contamina con su microflora salival.

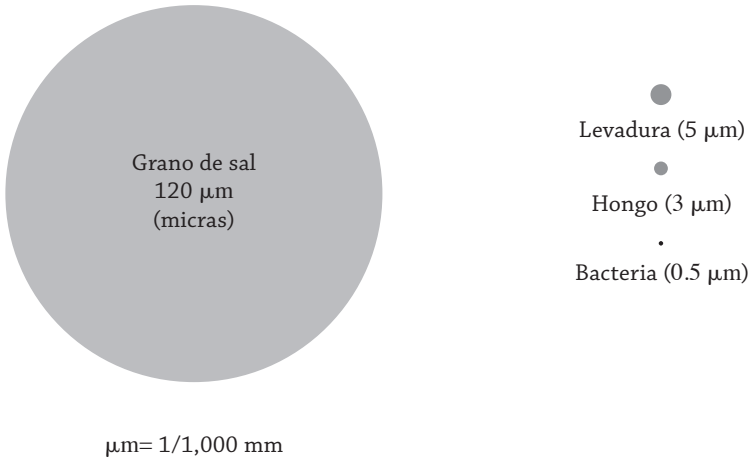
Principios de microbiología

Las bacterias, los hongos y las levaduras son miles de veces más pequeños que un grano de sal (figura 4.1), razón por la cual pueden encontrarse por cientos de millones en 1 ml de leche o en 1 g de carne contaminada. Las cuentas microbianas de los alimentos se reportan en términos de las unidades formadoras de colonias (UFC) que representan un microorganismo capaz de desarrollarse y formar una colonia. Algunos de estos microorganismos son unicelulares y otros pluricelulares y, al igual que los vegetales o el hombre, su existencia se basa en su actividad enzimática; las altas temperaturas y la acidez alteran o desnaturalizan sus enzimas y esto conlleva su inhibición o destrucción.

Las bacterias tienen forma de pelota o *cocos*, de bastón o *bacilos* y de espiral o *espiroquetas*; los primeros se agrupan en cadenas o *estreptococos* y como racimos de uvas o *estafilococos*. Se clasifican conforme a la tinción de su pared celular en grampositivas y gramnegativas, llamadas así en honor de su descubridor, Hans Christian Joachim Gram (1853-1938). Su material genético se encuentra disperso en el citoplasma y todo es retenido por una membrana; algunas producen esporas, células no activas pero con vida latente, capaces de germinar y reproducirse cuando las condiciones (de acidez, temperatura, etc.) son favorables. La ebullición (100 °C) destruye las bacterias pero no las termorresistentes esporas, para las cuales se requiere de autoclave o de olla a presión (120 °C) .

Los hongos crecen muy rápido y por lo general forman una capa o micelio notorio que cubre el alimento; la mayoría no son patógenos, se reproducen por esporas, soportan una mayor acidez y salinidad que las bacterias y crecen en productos con poca humedad, como el pan. Por su parte, las levaduras son células inocuas, ovaladas o elípticas, más grandes que las bacterias, se desarrollan en un intervalo de pH muy amplio y hasta en concentraciones elevadas de etanol y azúcar, como ocurre en el vino y otras bebidas alcohólicas.

Figura 4.1 **Comparación de un grano de sal con el tamaño de los microorganismos (μm = micra; mm = milímetro).**



Crecimiento microbiano

Las bacterias, hongos y levaduras crecen conforme a factores intrínsecos y extrínsecos del alimento; los primeros se refieren a las características propias del producto, tales como pH, *Aa* y disponibilidad de oxígeno y nutrimentos, mientras que los segundos a la temperatura, la humedad, los gases distintos al oxígeno y la presencia de microorganismos antagonistas. De forma resumida, y para efectos didácticos, todos estos factores se aglutinan en el término CHATTO, un acróstico que involucra los seis más relevantes: ***C****omida,* ***H****umedad,* ***A****cidez,* ***T****emperatura,* ***T****iempo y* ***O****xígeno.*

Comida. Es fundamental para cualquier célula activa e implica disponer de proteínas, hidratos de carbono, grasas, vitaminas y minerales.

Humedad. Se relaciona con la *Aa* que tiene un alimento y que favorece el crecimiento de determinados microorganismos, de acuerdo también a sus requerimientos de *Aa.* A partir de esto se puede conocer el tipo de contaminación microbiana de un producto, como se muestra en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 **Microorganismos probables de crecimiento de acuerdo con la *Aa*.**

Aa	Microorganismo probable	Alimentos
1.0 - 0.91	*Escherichia, Shigella, Salmonella, Clostridium botulinum, C. perfringens, Lactobacillus*	Alimentos frescos: leche, carne, pescado, frutas, verduras, salchichas, jamón, quesos frescos.
0.91 - 0.80	Levaduras, hongos, *Staphylococcus*	Pasteles, salami, leche condensada, arroz, margarina.
0.80 - 0.60	Hongos, levaduras	Mermeladas, frutas cristalizadas, gelatinas, frutas deshidratadas.
0.60 - 0.20	Sin crecimiento microbiano	Pastas, huevo y leche deshidratados, galletas, pan.

Acidez. Medida como pH, divide los alimentos en dos grandes grupos: los ácidos con pH < 4.6 como los cítricos, puré de tomate y mermeladas (donde sólo crecen microorganismos que descomponen los alimentos, pero no los patógenos) y cuya esterilización industrial se hace a 100 °C o menos; y alimentos no ácidos con pH > 4.6, como la carne, el pescado y la leche, que sustentan tanto los patógenos como los no patógenos y requieren de 120 °C para su esterilización. En algunos casos a los no ácidos se les añade acidulantes para reducir su pH y así someterlos a tratamientos térmicos más benévolos.

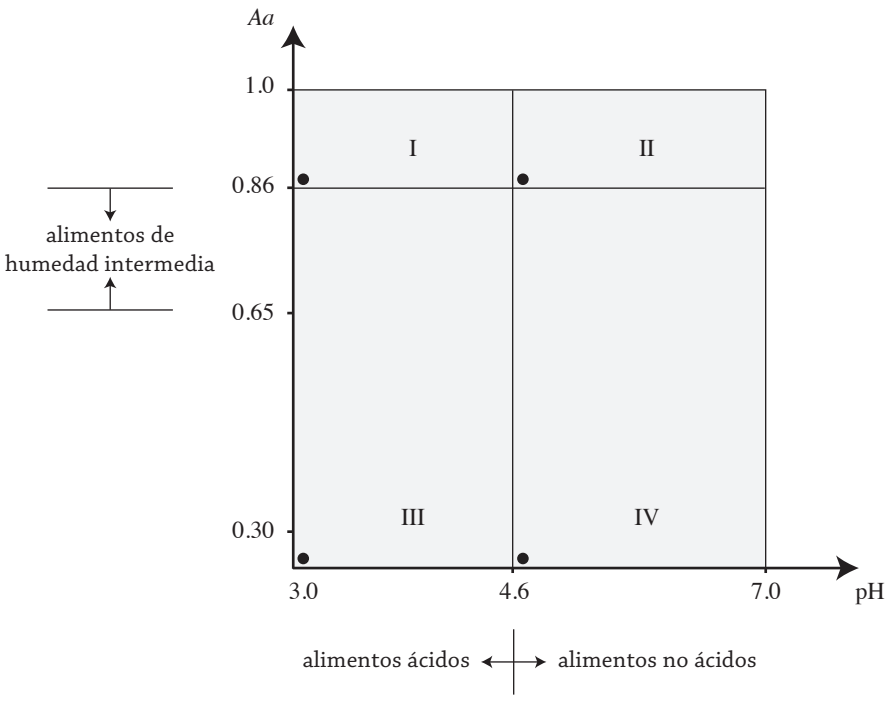
Temperatura. De acuerdo con la temperatura de crecimiento, los microorganismos se dividen en tres grupos: los psicrófilos (del griego *psychros*, frío y *philos*, amigo) que se desarrollan en rangos de 0 a 7 °C, es decir en el refrigerador y hasta en el congelador; los mesófilos (de *mesos*, medio) en rangos de 7 a 60 °C, que incluye la mayoría de patógenos y de los que alteran los alimentos; y los termófilos (de *thermos*, calor), que crecen a más de 60 °C, como las bacterias esporuladas. Por su influencia en la inocuidad, al intervalo de 7 a 60 °C se les llama *zona de peligro,* debido a que en estas condiciones se propician las ETA, sobre todo en los meses calurosos y al preparar y conservar los alimentos por mucho tiempo a temperatura ambiente antes de consumirlos. Los mesófilos se destruyen a más de 60 °C y la refrigeración y la congelación sólo inhiben su crecimiento, pero una vez atemperados recuperan su actividad.

Tiempo. Las bacterias duplican su población por división binaria aproximadamente cada 20 minutos cuando se encuentran en condiciones óptimas de pH, *Aa*, temperatura y nutrimentos. Para ilustrar este crecimiento considere un ejemplo sencillo: un cocinero con manos sucias contamina un alimento con tan sólo 1 000 bacterias; al cabo de 20 minutos habrá 2 000, pero en cinco horas (300 minutos = 15 ciclos), serán 32 768 000. La realidad es que las contaminaciones son mucho mayores a 1 000 bacterias y como resultado la cuenta final al cabo de pocas horas puede ser de varios cientos o de miles de millones; más que suficientes para provocar una enfermedad o un daño al producto.

Oxígeno. Es fundamental para el crecimiento de los microorganismos aerobios, y tóxico para los anaerobios como el *Clostridium botulinum*. Una forma de medir la cantidad de oxígeno disponible es con el potencial de oxidorreducción, o redox.

Para evitar la contaminación microbiana, tanto a nivel casero como industrial, se realiza el control de más de uno de los parámetros de CHATTO al mismo tiempo, como sucede con la *Aa* y la acidez. Con base en ellos, los alimentos se clasifican en cuatro categorías (figura 4.2). En la zona I están los ácidos con alto contenido de agua: vegetales frescos, jugos y alimentos acidificados como purés y encurtidos; debido a que los hongos crecen en estas condiciones, su conservación requiere de un moderado tratamiento térmico, por ejemplo a 100 °C o menos, de refrigeración o de la adición de conservadores fúngicos. La zona II es la más vulnerable por su alta *Aa* y pH mayor a 4.6 que favorece los patógenos e incluye cárnicos, leche y pescados; su conservación implica fuertes tratamientos térmicos de hasta 120 °C, o bien refrigeración, congelación y aditivos. La zona III es de alimentos muy estables por su bajo pH y *Aa*, como frutas deshidratadas, mayonesas, mermeladas y otros alimentos de humedad intermedia. En la IV están los polvos tipo harina, gelatinas y leche, o bien los productos evaporados; su baja acidez los hace sensibles, pero la reducida humedad los protege.

Figura 4.2 **Estabilidad de los alimentos en relación al pH y la *Aa*. ●: máxima estabilidad para cada cuadrante.**



Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA)

Son enfermedades que el hombre adquiere por consumir alimentos contaminados con los agentes indicados en el cuadro 4.2. Destacan las provenientes de bacterias y se dividen en intoxicaciones, infecciones y la combinación de ambas o toxiinfecciones. Si bien los puestos callejeros las propician de manera importante, también ocurren en el hogar y en restaurantes. Se considera que de 6 a 7 millones de personas en México contraen una ETA al año.

Esto representa un problema laboral ya que son causa de ausentismo, y pueden provocar la muerte de niños, ancianos y personas con bajas defensas. En la mayoría de los casos, los alimentos no presentan una modificación sensorial notoria, como olor o sabor desagradables, cambio de color, etc., que refleje el potencial dañino de la contaminación; por ello el individuo los consume sin percatarse del grave riesgo que corre.

La intoxicación implica una toxina que el microorganismo sintetiza en el alimento y que por ser termorresistente puede permanecer activa aun cuando el microbio se haya destruido por calentamiento; equivale a una contaminación química y sus efectos se presentan pocas horas después de haberlas ingerido. El ejemplo más dramático de este tipo de enfermedad es el botulismo (vea más adelante, en este mismo capítulo, la sección Botulismo).

La infección no involucra toxinas, sino que depende del número de microorganismos vivos consumidos y de la población desarrollada en el organismo. La cuenta microbiana se duplica aproximadamente cada 20 minutos y cuando llega a un punto específico, por lo general de varios millones, se presenta la enfermedad; por ello las infecciones toman varios días, a diferencia de las intoxicaciones, y se evitan con un calentamiento previo del alimento para destruir los microorganismos.

Para que el agente infeccioso actúe debe vencer dos barreras naturales: la fuerte acidez (pH de 2.2) del jugo gástrico y la enorme variedad y cantidad de microbios intestinales con los que compite; posteriormente se adhiere a las paredes del estómago, a los músculos, al hígado, al intestino delgado (íleon o yeyuno) o al colon, donde se desarrolla, crece y ejerce su influencia dañina. Entre las infecciones más comunes está la gastroenteritis (del griego *gastricus*, estómago; *entera*, intestino, e *itis*, inflamación), padecimiento genérico que provoca diarrea, fiebre y vómito, e incluso la muerte en niños y ancianos; la producen salmonelas, coliformes, shigelas, vibrios y estafilococos, pero también amibas y virus.

Las toxiinfecciones ocurren cuando el tóxico es producido en el propio organismo humano, como ocurre con algunas cepas de *Escherichia coli* y el *Vibrio cholerae,* y cuyo efecto se hace patente al cabo de horas o días, dependiendo de la velocidad de crecimiento del microorganismo.

Por bacterias

Las ETA más comunes provienen de bacterias infecciosas, ocurren sobre todo en verano debido a las altas temperaturas, y muchas tienen su origen en las heces que llegan a los alimentos por diferentes rutas (figura 4.3). El tracto gastrointestinal, y en consecuencia la materia fecal, están plagados de coliformes, salmonellas y shigelas que el operador de

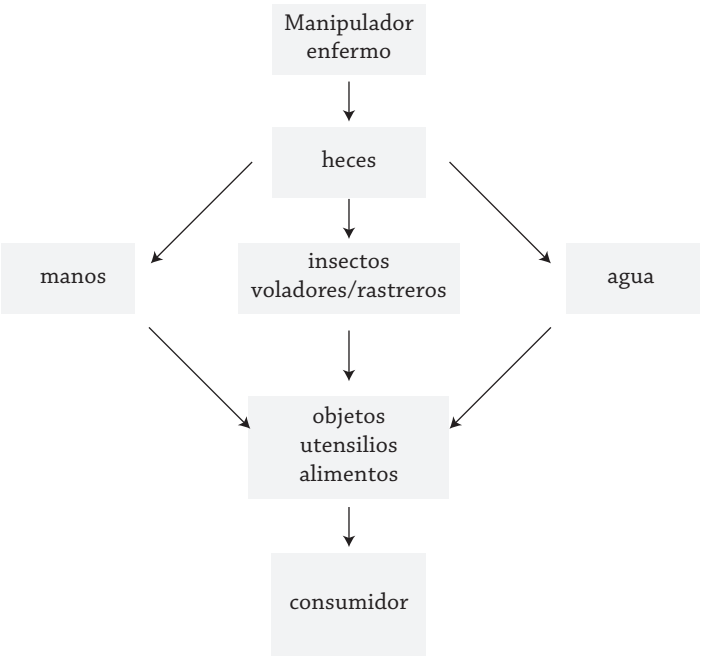
Cuadro 4.2 **Principales agentes causantes de las ETA.**

Por toxina preformada	Por organismo
Bacterias que causan intoxicación	**Bacterias que causan infección**
Bacillus cereus	*Brucella*
Clostridium botulinum	*Escherichia*
Clostridium perfringens	*Listeria*
Staphylococcus	*Salmonella*
Hongos	*Shigella*
Micotoxinas	*Staphylococcus*
Fitoplanctons	*Vibrio*
Ácido domoico	**Protozoos**
Ciguatoxina	*Entamoeba*
	Giarda
	Toxoplasma
	Virus
	Hepatitis
	Rotavirus
	Lombrices
	Ascaris
	Fasciola
	Taenia
	Trichinella
	Priones
	Vacas locas

alimentos transmite con las manos al no lavárselas después de ir al baño, pero también son agentes transmisores las moscas y otros insectos rastreros y voladores y el agua no potable; esta última es un problema mundial al que se le adjudica un gran número de muertes en países en desarrollo. Los alimentos también se contaminan cuando se tose o estornuda sobre ellos, al tocarlos después de manejar dinero, al escarbarse la nariz y por las heridas e infecciones cutáneas.

Para evitar las ETA es indispensable observar prácticas higiénicas en el manejo de alimentos como lavarse continuamente las manos, usar agua potable, evitar la contaminación cruzada, cocinarlos a temperatura alta para destruir los microorganismos y sus toxinas, conservarlos en refrigeración, mantenerlos fuera de la zona de peligro y recalentarlos a 70 °C cuando se consumen de un día a otro.

Figura 4.3 **Rutas de contaminación de alimentos.**



De todos los coliformes (término que deriva de *colon,* igual que cólico), el *Escherichia coli* es el más representativo y se emplea para medir la higiene en la industria y las cocinas; su ausencia indica una buena limpieza y sanitización. La cepa O157:H7 es particularmente dañina ya que causa hemorragias internas, problemas de riñón y aun la muerte; debido a que se ha identificado en hamburguesas parcialmente cocidas, se recomienda que la carne alcance 68 °C en su centro geométrico para destruir la bacteria.

La mayoría de los 500 tipos de salmonelas provienen de heces y de aves de granja, y en menor proporción, de carnes crudas de pescado, res y cerdo; a los animales hospederos no les causa daño. Los humanos portadores son personas sanas que presentan una infección asintomática y excretan periódicamente el bacilo. La *Salmonella tiphy* y la *S. paratyphi* producen la tifoidea y la paratifoidea, respectivamente; infecciones causadas por consumir alimentos con millones de estas células por gramo y caracterizadas por fiebre, dolor de cabeza, falta de apetito y diarrea.

Las shigelas provocan la disentería con una menor cantidad de bacterias que las salmonelas. Es común encontrarlas en moluscos debido a que éstos retienen dichos microorganismos al filtrar el agua para su alimentación. El *Vibrio cholerae,* descubierto en 1884 por Robert Koch, causa una toxiinfección, el cólera; la toxina produce diarrea y vómito, y aun la muerte si no se trata a tiempo. El arroz cocido sin refrigerar permite la germinación de las esporas termorresistentes del *Bacillus cereus* que producen una potente toxina. El *Campylobacter* se encuentra en carnes crudas, como las de pollo.

La *Listeria monocytogenes* es el único microorganismo patógeno psicrófilo y crece en leches, quesos, vegetales y carnes de res y de pollo; la listeriosis implica desde un tipo de

influenza con dolor abdominal y diarrea, hasta síntomas de meningitis. El *Mycobacterium tuberculosis* es responsable de la tuberculosis, crece en vacas enfermas y por eso la leche bronca es de alto riesgo para la salud humana, incluidos los quesos elaborados con ella, especialmente los frescos.

La leptospirosis la origina la *Leptospira interrogans* que se transmite por la orina de roedores. Su incubación es de 2 a 4 semanas y en una primera etapa los síntomas son similares al del resfriado; avanzada, causa graves problemas; las ratas llegan a orinar sobre las latas de refrescos en los almacenes, y si éstos no se lavan adecuadamente antes de consumirse, existe el riesgo de contraer la enfermedad.

Por su parte, las intoxicaciones bacterianas más importantes involucran dos patógenos esporulados anaerobios: *Clostridium botulinum* y *Clostridium perfringens*, ambos productores de toxinas al esporular. El segundo se encuentra en especias, tierra y tracto gastrointestinal; su enterotoxina provoca dolor abdominal y diarrea en menos de 12 horas; se puede presentar en grandes trozos de carne sometidos a un calentamiento prolongado a baja temperatura, o en los bufetes en los que se conserva el alimento en condiciones adecuadas para el crecimiento del microorganismo.

Botulismo

Este término deriva del latín *botulus*, salchicha, debido a que los romanos lo relacionaron con los embutidos. Es la intoxicación bacteriana más letal causada por el *Clostridium botulinum*. El microorganismo es anaerobio y requiere proteínas y de un pH mayor de 4.6; condiciones presentes en productos enlatados como cárnicos, vegetales, frijoles y cremas y en otros alimentos empacados en bolsas al alto vacío; durante su crecimiento la bacteria sintetiza la toxina fuera de su célula (exotoxina), pero además produce gases que inflan las latas; aún cuando esto no siempre ocurre, ya que en ocasiones el gas se absorbe en el propio alimento y no hay tal abombamiento de los envases.

Su toxina es de las más potentes que se han descubierto en la naturaleza; la dosis letal para el hombre es de tan sólo 0.00003 μg/kg de peso. Esta cantidad es mucho muy pequeña si se compara con otros tóxicos; por ejemplo, para la dioxina, las aflatoxinas, el paratión, el mercurio y la sal de mesa se tienen dosis letales de 1 600, 3 000, 120 000 y 4 000 000 μg/kg de peso, respectivamente. Es decir, una persona de 70 kg podría morir si ingiere 0.0021 μg de la toxina botulínica, o bien, 280 g de sal. Aunque la incidencia de la enfermedad es baja, los índices de mortalidad son muy altos.

Los primeros síntomas aparecen entre 18 y 36 horas después de su ingesta con visión doble, vómito, náuseas, asfixia, bloqueo de la neurotransmisión y muerte por parálisis de los músculos de la respiración. El botulismo infantil se presenta por el consumo de miel y jarabes de maíz que contienen esporas de la bacteria y germinan en el intestino de bebes menores de un año.

Por ser una proteína, la toxina se desnaturaliza y pierde actividad a 100 °C pero no las esporas termorresistentes que soportan de 4 a 5 horas en ebullición y cuya destrucción requiere de 40 a 50 min a 120 °C. Es importante eliminar las esporas, ya que si sobreviven se convierten en bacterias activas y paralelamente sintetizan la toxina.

Cabe aclarar que el abombamiento de las latas no siempre se debe al crecimiento del *Clostridium botulinum;* existen otras causas que lo producen como el desarrollo de algunas

bacterias que también generan gases o la producción de hidrógeno por oxidación y corrosión interna de las latas; en cualquier caso es mejor desechar los envases con esas características, principalmente si se trata de un producto con pH mayor de 4.6.

Esta misma toxina es la base del bótox, que se utiliza de forma controlada en medicina y cosmetología.

Por hongos

Las causas principales de intoxicación por hongos se deben a diversas micotoxinas termoestables sintetizadas por *Claviceps*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Alternaria,* microorganismos filamentosos que crecen mejor en condiciones húmedas y de 25 a 30 °C. La micotoxicosis es una enfermedad crónica que aparece por acumulación de pequeñas cantidades del tóxico en el hígado, es decir es hepatotóxico.

Los hongos se desarrollan en cereales, cacahuate, cacao y otros granos y semillas, así como en manzanas, peras y distintos vegetales cuando su piel protectora se daña por un golpe o simplemente con la maduración. Por ser termoestables, las toxinas no se destruyen con el calentamiento y se concentran en productos deshidratados.

El cornezuelo del centeno (*Claviceps purpurea)* es causante del ergotismo, llamado fiebre o fuego de San Antonio en la Edad Media, que provoca gangrena en las extremidades al restringir la circulación de la sangre; en algunos casos causa alucinaciones, ya que el hongo sintetiza paralelamente un derivado del ácido lisérgico (LSD).

El *Aspergillus* produce la ocratoxina y las aflatoxinas (del inglés *Aspergillus Flavus Toxin*), estas últimas compuestos fluorescentes clasificados como B_1 (más potente), B_2, G_1 y G_2. La rubratoxina, patulina, citrinina, islanditoxina con estructura de aminoácido y el ácido penicílico, son sintetizados por el *Penicillium*.

Por protozoos

Tal como las bacterias y las levaduras, los protozoos son organismos unicelulares sin una forma específica, y representan lo más primitivo del reino animal; destaca la *Giardia lamblia*, la *Entamoeba histolytica* y el *Toxoplasma gondii*. Los quistes del primero llegan a los vegetales por el riego o lavado con aguas negras; al consumirlos sin lavar y sin desinfectar, a su paso por el estómago se desenquistan y se alojan en el intestino delgado, donde se reproducen y ejercen su acción dañina.

La disentería amebiana o amibiasis, es una de las ETA más comunes en México; su trasmisión ocurre de persona a persona vía fecal-oral y se debe a la mala higiene que prevalece en los sitios donde se manipulan los alimentos, especialmente puestos callejeros. El ciclo de vida de la entamoeba comprende la *fase infectiva,* cuando se ingiere alimento contaminado, y la *fase invasiva* que implica la liberación de los trofozoítos (forma móvil de la célula), que penetran la mucosa intestinal y causan vómito, náusea, dolor abdominal, diarrea con sangre y mortales abscesos hepáticos. El periodo de incubación es de aproximadamente tres semanas. Cuando abandonan el organismo en las heces, los trofozoítos mueren, aun cuando algunos se convierten en quistes, que son los que contaminan los alimentos. La toxoplasmosis se transmite vía carne infectada y por contacto con gatos que padecen la infección.

Por lombrices (vermes)

De estos parásitos animales existen los vermes planos y redondos. Los primeros, también llamados solitarias, provocan la cisticercosis o teniasis por consumir carnes y vegetales contaminados con la *Taenia solium* del cerdo o la *T. saginata* del ganado vacuno. La del cerdo produce un quiste observable a simple vista, del que se genera la lombriz o solitaria; los cisticercos se alojan en diversos tejidos, incluido el cerebro y el sistema nervioso central, lo que puede causar la muerte. Para asegurar su destrucción, la carne de cerdo debe calentarse a 75 °C en su centro geométrico durante 15 segundos; la congelación de la carne cruda por 15 días también destruye el parásito.

La *Trichinella spiralis* es el verme redondo responsable de la triquinosis, enfermedad que se manifiesta de 24 a 48 horas después de consumir carne de cerdo insuficientemente cocida. Las larvas o triquinas atraviesan la mucosa intestinal y provocan diarrea y vómito; las larvas invaden los músculos y en altas concentraciones causan graves problemas que se reflejan hasta en incapacidad para respirar y masticar. Igual que en el caso anterior, se puede prevenir con calentamiento adecuado o congelación.

Por virus y priones

Los virus, más pequeños que las bacterias, son parásitos obligados; esto significa que para su desarrollo requieren de una célula hospedera debido a que no se reproducen por sí solos. Algunos virus causan la hepatitis, mientras que otros provocan dolores abdominales y fuertes diarreas. Se asocian con los ostiones ya que estos moluscos al filtrar el agua para su alimentación concentran los virus.

Otros virus importantes son los de la gripe o influenza aviar que afectan a las aves, pero que se transmiten a los mamíferos, incluido el hombre. Los causantes se dividen de acuerdo con sus distintas hemaglutininas (H) y enzimas neuroaminidasas (N), de donde deriva la nomenclatura HN. También está la fiebre aftosa, provocada por los virus *Coxsackie* y *Enterovirus* que causan llagas y ampollas dolorosas en los animales.

Más pequeños que los virus, los priones son proteínas termorresistentes cuya acción dañina consiste en modificar la funcionalidad de otras proteínas. Afectan al cerebro y son responsables de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y de la encefalopatía espongiforme bovina (del inglés *bovine spongiform encephalopathy, BSE*), también llamada *enfermedad de las vacas locas,* que causó la muerte de muchas personas y graves daños a la industria ganadera de varios países. A diferencia de otros agentes dañinos, éstos no se destruyen con la cocción normal de la carne.

Tóxicos naturales y factores antinutricionales

Las contaminaciones física, química y biológica se evitan con un estricto control de las distintas etapas de la cadena alimentaria; sin embargo, los alimentos de forma natural

pueden contener algunos compuestos bioactivos dañinos cuya presencia y concentración es difícil regular.

Estos tóxicos son metabolitos del reino vegetal producidos como defensa contra depredadores, y en ese sentido podrían considerarse como plaguicidas naturales que se sintetizan en mayor cantidad cuando los vegetales están bajo estrés por falta de agua o a una temperatura inadecuada. Entre los principales están los glucósidos cianogénicos, glucosinolatos, fitohemaglutininas, saponinas, bociogénicos, hidracinas, furanocumarinas, solanina y fitatos (vea en el capítulo 8 la sección Agentes indeseables en los vegetales). Afortunadamente muchos son termosensibles y son destruidos por calentamiento; otros se encuentran en tan baja concentración que no afectan al hombre con un consumo moderado del alimento que los contiene.

Por su parte, los factores antinutricionales, como los inhibidores de proteasas, disminuyen el aprovechamiento de las proteínas en el organismo humano, e igualmente son termosensibles (vea en el capítulo 8 la sección Soya).

Contaminación intencional o adulteración

Como lo indica su nombre, es la contaminación provocada de forma intencional al emplear compuestos no permitidos, o bien al adicionar los aceptados en exceso, sin cumplir la regulación aplicable.

Recientemente en China se presentó el caso de la melamina adicionada a la leche en polvo, que causó la muerte a varios niños. Esta grave adulteración tenía como objetivo modificar el análisis del contenido proteínico de la leche; la melamina es materia prima para elaborar plásticos, y su molécula contiene mucho nitrógeno; por otra parte, el método para cuantificar la proteína es indirecto y se basa en la medición del nitrógeno, el cual se convierte por un cálculo sencillo en proteína. Como resultado, al adicionar melamina se incrementa el contenido de nitrógeno y, por tanto, aparentemente el de proteína. En ese país se ha encontrado miel con antibióticos que indebidamente se añaden al alimento de las abejas para prevenir sus enfermedades.

El abuso de los aditivos permitidos es otra forma de contaminación intencional o adulteración; la legislación los acepta en cierta cantidad, pero se añaden en exceso para cubrir problemas de calidad, sobre todo los conservadores. Lo mismo sucede con el inadecuado suministro de hormonas y antibióticos al ganado vacuno, la aplicación de plaguicidas y la adición de antibióticos al alimento de las abejas; en cualquier caso deben seguirse las reglas para asegurar que no están presentes en el alimento, y al no acatarlas se ocasiona una contaminación intencional.

Sustancias sintetizadas por altas temperaturas

El último grupo de agentes dañinos en los alimentos se genera con su calentamiento, sobre todo al momento de prepararlos en la cocina, lo que estudiaremos más adelante (vea en el capítulo 5 la sección Efecto negativo de las altas temperaturas).

Contaminación cruzada

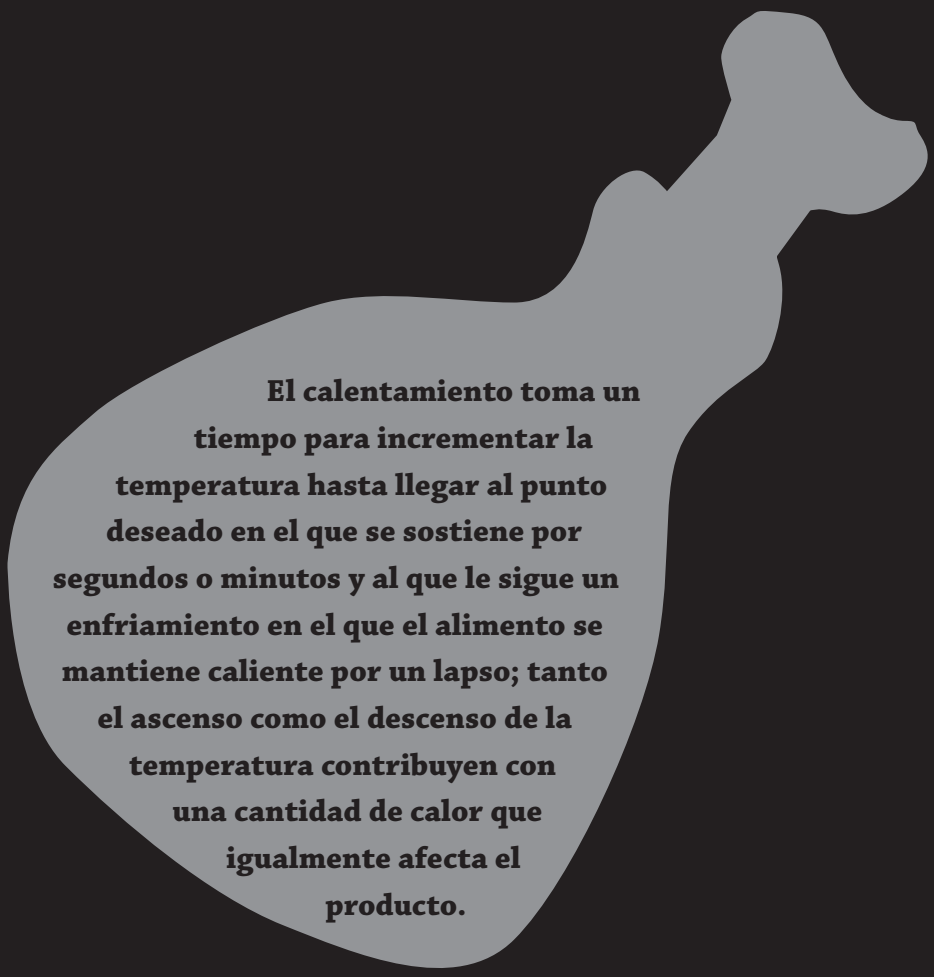
Recién salidos del horno, de la olla a presión o del freidor, los alimentos son inocuos debido a que las altas temperaturas destruyen los microbios; sin embargo, esta misma condición de esterilidad los hace susceptibles de recontaminación debido a que los microorganismos intrusos no encuentran competencia y se desarrollan con mucha facilidad.

La contaminación cruzada ocurre al poner en contacto un alimento inocuo con una fuente sucia o contaminada como carne y pescado crudos, manos, utensilios de cocina, trapos de limpieza, tablas de corte, etc. El cuchillo que se utiliza para manipular el pollo crudo puede llevar salmonelas por lo que no debe emplearse en el pollo cocinado que está listo para consumo. Para evitar la contaminación cruzada en el refrigerador se recomienda que los alimentos cocinados y listos para el consumo se coloquen en la parte superior, y los crudos en la inferior, sobre todo si hay posibilidad de goteo.

Otra forma de contaminación cruzada ocurre en la industria al fabricar en una misma línea distintos tipos de alimentos; el caso más representativo es el de la elaboración de derivados de trigo o de productos que lleven nueces y cacahuates, con los alimentos destinados a los alérgicos, como los celiacos. La posibilidad de esta contaminación cruzada se indica incluso en las etiquetas de los alimentos.

Distintivo H

Como destino turístico, México debe asegurar que los alimentos servidos en restaurantes sean inocuos, es decir, que no propicien las ETA relacionadas con la internacionalmente conocida *venganza de Moctezuma*. El Programa Nacional de Manejo Higiénico de Alimentos, con recomendaciones de la OMS, tiene ese objetivo. En este esquema, el prestador del servicio debe cumplir prácticas que eliminen la contaminación accidental en sus tres modalidades y la contaminación cruzada; es fundamental aplicar diversas rutinas de control en cada etapa: materia prima, lavado, desinfección, almacenamiento, congelación, refrigeración, descongelación, higiene personal, preparación, área de cocina, temperaturas de cocción, cloro residual del agua, manejo de plagas y de basura, etc. Cumplidos estos requerimientos, el expendedor de alimentos puede solicitar el "Distintivo H" a través de una auditoria que realiza personal capacitado de la Secretaría de Turismo.



El calentamiento toma un tiempo para incrementar la temperatura hasta llegar al punto deseado en el que se sostiene por segundos o minutos y al que le sigue un enfriamiento en el que el alimento se mantiene caliente por un lapso; tanto el ascenso como el descenso de la temperatura contribuyen con una cantidad de calor que igualmente afecta el producto.

5

Preparación de los alimentos en la cocina

Sea cocina mexicana, árabe o española, cuando los alimentos se preparan con un proceso común y en condiciones semejantes se comportan de forma similar. Por otra parte, un alimento genera sus cinco atributos básicos —color, sabor, textura, valor nutritivo e inocuidad— con diferentes características e intensidades, dependiendo de la temperatura, tiempo, agua y aceite (entre otros factores) que se utilicen en su preparación; así, un trozo de carne será (y sabrá) diferente si se cuece en agua, vapor o en olla a presión, o si se fríe, rostiza u hornea; y esas diferencias se acentúan con cada método utilizado, de tal forma que freír a 150 °C provoca cambios diferentes a los que se generan a 180 °C.

Muchas reacciones químicas que se producen en la industria y en la cocina están suficientemente documentadas y explicadas en la literatura científica; se conoce su mecanismo y la forma en que impactan en las propiedades sensoriales, y el valor nutrimental de los alimentos. Cada día se incrementa este acervo técnico y con base en él se diseñan nuevos procesos y alimentos y se apoyan corrientes vanguardistas como la gastronomía molecular.

Gastronomía molecular

Este concepto surgió en la década de 1980 cuando se entendió y aceptó que la preparación de alimentos tiene una base científica. Con lo cual se crearon movimientos audaces, como la *gastronomía molecular* (del griego *gastros*, estómago y *gnomos*, conocimiento), la *ingeniería gastronómica* y la *cocina molecular*. Las instalaciones de las cocinas modernas asemejan mucho un laboratorio, pero en lugar de buretas y pipetas tienen ollas, cucharas y algunos equipos que antes eran exclusivos de las industrias química y farmacéutica. De este modo se establece un diálogo entre la ciencia y la cocina. La preparación de alimentos utilizando la tecnología moderna en la gastronomía molecular resulta en productos no tradicionales.

Lo anterior nos permite entender la función y (por qué) el orden de adición de cada ingrediente; asimismo, explica el origen de los sabores que se generan y cómo desarrollar emulsiones, geles y espumas novedosas. También ayuda a optimizar la cocción para obtener texturas, colores y aromas apetecibles, así como lograr una mejor retención de los nutrimentos. Su principio de deconstrucción se aplica para modificar guisos populares y crear otros con propiedades sensoriales diferentes utilizando técnicas no convencionales; por ejemplo, los ingredientes de una típica sopa de tortilla se usan para preparar polvos, aires, infusiones, espumas y geles.

Son diversas las técnicas que se aplican en este movimiento. Destacan las siguientes:

a) La cocción al vacío consiste en colocar la carne o la verdura en una bolsa a la que se le extrae mecánicamente el aire; se sella con calor y se cocina en su propio jugo a temperatura controlada en baño María; con este procedimiento se conservan los nutrimentos y la jugosidad de las carnes.
b) Los llamados aires elaborados con cítricos, café y alcoholes, y gasificados con nitrógeno o bióxido de carbono y las esponjas a base de hidrocoloides que incorporan aire en el batido.
c) La ultracongelación con nitrógeno líquido a –190 °C del helado, gajos de frutas, flores comestibles y otros más; el descenso de temperatura tan brusco evita la formación de grandes cristales de hielo y crea una textura tersa que se disuelve fácilmente en la boca.
d) La liofilización produce estructuras muy porosas de frutas y verduras, en porciones o enteras. El uso del sifón es adecuado para generar espumas tipo *mousses* a partir de concentrados de frutas y verduras, tanto en frío como en caliente.
e) Con la centrifugación se separan los líquidos de los sólidos en los vegetales y otros productos para hacer concentrados. Con el mole se generan tres fases: una acuosa (o consomé), otra grasosa donde se concentran los sabores, y la fase de los sólidos; cada una tiene diferente aplicación.
f) También se aprovecha la reacción de Maillard para acentuar los sabores a pollo mediante la adición de cisteína y glucosa.
g) Se elaboran huevos cocidos a baja temperatura al ponerlos en una bolsa de plástico grado alimenticio y cerrarla herméticamente; se calientan en baño María o baño termostático por algunos minutos a 68 °C, lo que da como resultado una yema que se puede tomar con las manos, aun cuando es líquida por dentro.

h) El conocimiento técnico sobre la gelificación de las gomas industriales usadas como aditivos permite la esferificación iónica que consiste en la creación de perlas que semejan dulces, hueva de pescado o yemas; para ello las gotas de una solución concentrada de alginato de sodio con jugo de cítricos, saborizantes, etc., se dejan caer en una solución de 2 a 2.5% de cloruro de calcio y pH 4 a 6, cuyo contacto induce la gelificación del polisacárido y la formación de esas perlas con un mecanismo semejante al descrito para las pectinas (figura 1.8). Una vez gelificada, la perla adquiere mayor rigidez con el tiempo por la difusión de los iones calcio al interior.

Muchas otras innovaciones se han desarrollado a partir del entendimiento de que la ciencia de los alimentos puede aplicarse en la cocina e incluye, por supuesto, el uso de diversos aditivos, sobre todo emulsionantes y gelificantes.

Calentamiento

El calentamiento representa una de las formas más comunes de preparación de alimentos; a tal grado que, de todos los electrodomésticos la estufa y el horno de microondas, junto con el refrigerador, son los que más se emplean en múltiples ciclos de frío-calor. Para algunos antropólogos, el uso del fuego en los alimentos dio inicio a la gastronomía; seguramente al principio se utilizaba la llama viva y el rescoldo de las cenizas; después, el comal, que era usado por los aztecas para preparar la diversidad de guisos que consumía el emperador Moctezuma, permitió distribuir de mejor manera el calor.

Los alimentos se someten a un tratamiento térmico, tanto en la cocina como en la industria, para resaltar sus cinco atributos básicos. La reacción de Maillard y la caramelización dan origen a sabores, aromas y colores atractivos. Se destruyen microorganismos, tanto los que deterioran como los patógenos y sus toxinas, además de las enzimas que provocan cambios indeseables. Se incrementa la biodisponibilidad y digestibilidad de nutrimentos a través de la gelatinización e hidrólisis del almidón, la desnaturalización de proteínas, la destrucción de factores antinutricionales y la ruptura de los tejidos vegetal y animal para favorecer la acción enzimática del sistema digestivo. Además, se generan texturas más apetecibles.

Estos grandes beneficios tienen también algunas desventajas, por ejemplo la pérdida por extracción o lixiviación de vitaminas, minerales y otras sustancias hidrosolubles, la oxidación de ácidos grasos insaturados, pigmentos y vitaminas, la destrucción de aminoácidos y la formación de algunos compuestos tóxicos.

El calentamiento es un aumento de la temperatura por algún tiempo y por lo general provoca cambios químicos irreversibles en los alimentos, debido a que se alteran sus macro y microcomponentes. Los distintos métodos empleados trabajan en condiciones muy específicas de tiempo-temperatura para lograr cambios precisos, todos con base en las leyes de la termodinámica que se aplican al cocer frijoles, elaborar mermeladas y encurtidos caseros o esterilizar de forma industrial una lata de atún; el principio establece que el calor siempre fluye del cuerpo caliente al frío.

Calor y temperatura

El calor es la energía en calorías que fluye de un cuerpo caliente a uno frío, mientras que la temperatura implica la rapidez con la que se mueven las moléculas en esta transferencia y que es medida en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F). Las moléculas calientes poseen gran movilidad y al chocar con las frías transmiten su energía y les incrementan la temperatura a costa de la reducción de la suya; al final se llega a un equilibrio termodinámico en donde todas las moléculas tienen la misma movilidad o temperatura. En un horno, el calor va de las paredes calientes al alimento, mientras que en un refrigerador, pasa del alimento a las paredes frías.

La velocidad de esta transferencia depende del contenido calórico del transmisor (medida como temperatura), de su distancia con el alimento y de su facilidad para recibir la energía. Este último factor se refleja en su calor específico, que por definición es la energía requerida para incrementar en 1 °C un kilogramo de producto; si colocamos dos recipientes en un horno, uno con agua y otro con aceite, el primero se calentará más lentamente ya que su calor específico es mayor y requiere más energía para alcanzar la misma temperatura que el aceite.

El calor se produce por tres mecanismos: *combustión*, *resistencias eléctricas* y *microondas*.

La combustión resulta de oxidar un combustible, como la madera o el carbón, pero principalmente el gas comercial que puede ser propano-butano o metano, ambos derivados del petróleo. El primero, también llamado gas LP o GLP (gas líquido a presión), genera aproximadamente 23 400 kcal/m^3, debido a que es inodoro se le añade el agresivo metil mercaptano para facilitar su identificación y se utiliza en los hogares y en los restaurantes. Para su distribución, el gas se comprime en líquido; al abrir la llave de la estufa disminuye su presión interna y se gasifica para llegar a la hornilla donde una chispa eléctrica o un cerillo lo encienden. Por su parte, el metano o gas natural es más barato, pero tiene una capacidad calorífica menor a la del propano-butano.

Los tostadores de pan y los hornos eléctricos emplean alambres cuya alta resistencia al paso de la electricidad, como ocurre con los focos incandescentes, provoca su calentamiento y generación de calor. Por su gran relevancia, el tercer mecanismo de producción de calor, las microondas, se trata por separado (vea en el capítulo 6 la sección Microondas).

Sistemas de transmisión de calor

El calor generado por la combustión, por las resistencias eléctricas y por las microondas, se transmite a los alimentos por uno o por la combinación de tres sistemas: *conducción*, *convección* y *radiación*.

El primer sistema implica un cambio de energía por el contacto de dos sólidos a diferente temperatura sin un medio transmisor, como sucede al tocar con las manos un objeto caliente o frío. La capacidad de conducción se refleja con el cuchillo y el mármol, que se perciben más fríos que el plástico, papel o madera, a pesar de que todos estén a la misma temperatura en la cocina. El metal y el mármol poseen mayor conductividad térmica debido

a que sus electrones movibles favorecen el transporte de energía, contrario al plástico, papel o madera que los tienen más fijos por lo que actúan como aislantes o dieléctricos. La cerámica está formada por una red molecular sin movilidad, es menos eficiente que el metal para calentar los alimentos y por ello, al ser un pobre conductor, los almacena y mantiene calientes por más tiempo.

El principio de la conducción se aplica hasta en la ropa. Un suéter *calientito,* como mucha gente lo califica, es un mal conductor o un buen aislante, ya que mantiene el calor del cuerpo y no favorece un intercambio con el exterior; un suéter no produce calor, sólo lo conserva.

El calor que genera la estufa por la combustión del gas calienta el comal por conducción y lo transmite al alimento con el que esté directamente en contacto, por ejemplo una tortilla. En general, los alimentos son malos conductores del calor y esto puede provocar que se sobrecocinen en el exterior y permanezcan crudos en el interior, como ocurre con un trozo de carne.

En la convección, el calor se transmite mediante moléculas de agua, vapor, aceite o gas en movimiento, como sucede al hervir, freír, hornear y rostizar. Es el sistema más común de calentamiento en la cocina y en la industria y depende de la cantidad, viscosidad, densidad y conductividad del fluido y de la forma, tamaño y cantidad del alimento. De todos los fluidos, el agua es el mejor conductor y su calentamiento genera corrientes de convección que son responsables de transmitir la energía; esas corrientes se producen cuando el líquido caliente del fondo del recipiente migra a la superficie fría y se establece un intercambio permanente del agua fría y caliente. La formación de estas corrientes es más difícil en líquidos muy viscosos, como atoles y cremas que requieren de una agitación permanente para homogeneizar la temperatura; entre más agua, más fácil la convección.

Aun cuando la convección parece relacionarse más con el calor húmedo —como en la cocción de los tamales en una vaporera o de las verduras en una olla con agua—, también se efectúa en seco utilizando aceites y grasas. Éste es el caso de los productos elaborados con el freído prolongado, como las papas fritas, el chicharrón y las típicas carnitas hechas con manteca de cerdo. Tal como ocurre con cualquier sistema de transmisión de calor, entre menor sea el tamaño del alimento, mayor contacto y más fácil será el calentamiento.

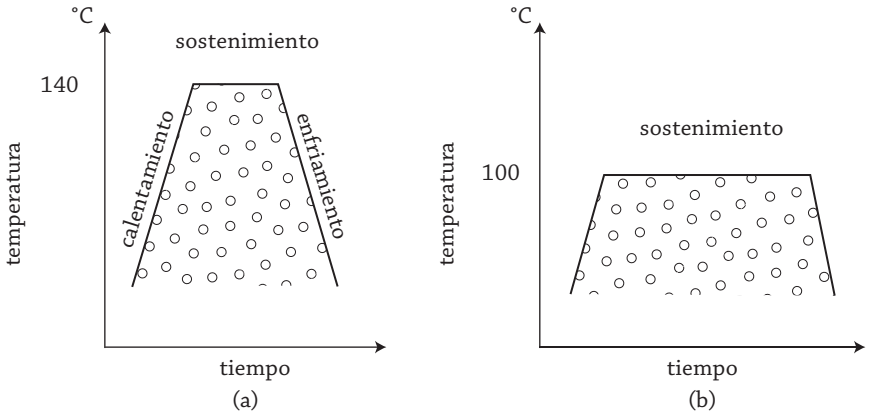
La radiación se basa en que todos los cuerpos calientes irradian calor proporcionalmente a su temperatura, como sucede en las parrillas de los hornos y los tostadores de pan; es la emisión y absorción de energía electromagnética en forma de infrarrojo que no requiere del contacto directo como en la conducción, o de un medio transmisor como en la convección (vea en el capítulo 6 la sección Radiaciones).

Por lo general, en los equipos caseros o industriales concurren los tres sistemas de transmisión; por ejemplo, el gas proveniente del ventilador en un horno produce corrientes de convección, la base metálica calienta por conducción el recipiente con el alimento al estar en contacto, y las paredes, a una alta temperatura, irradian calor hacia el producto.

Sea casero o industrial, el calentamiento toma un tiempo para incrementar la temperatura hasta llegar al punto deseado en el que se sostiene por segundos o minutos y al que le sigue un enfriamiento en el que el alimento se mantiene caliente por un lapso; tanto el ascenso como el descenso de la temperatura contribuyen con una cantidad de calor que

igualmente afecta el producto. En la figura 5.1 se muestran dos patrones de calentamiento, uno de alta temperatura-corto tiempo y otro de baja temperatura-largo tiempo; aun cuando la cantidad de calor suministrada sea la misma y representada por el área debajo de la curva, el efecto del primero es más efectivo en la destrucción de microorganismos y de enzimas, y en la retención de nutrimentos.

Figura 5.1 **Patrones de calentamiento. (a) alta temperatura corto tiempo usado en la industria; (b) calentamiento de baja temperatura largo tiempo.**



Factores que influyen en el calentamiento

La eficiencia de cualquier tratamiento térmico depende de factores intrínsecos del alimento y de extrínsecos relacionados con el método empleado. Aunque parece simple, la elaboración de un huevo duro o cocido en agua implica diversas consideraciones termodinámicas que se resumen a continuación.

Del huevo afecta su tamaño, forma, temperatura interna y relación de clara y yema; del método de calentamiento, la cantidad y temperatura del agua y la forma, tamaño y material del recipiente usado. Cada uno influye de manera distinta en la transferencia y distribución de calor del agua al centro geométrico del huevo para desnaturalizar y coagular las proteínas, que es finalmente el objetivo de esta cocción. La transferencia de calor ocurre por etapas: de la fuente calorífica o flama de la estufa a la base metálica del recipiente, y de ésta a su cara interna en contacto con el agua; el calor recibido por el líquido genera corrientes de convección que calientan la cáscara del huevo; a su vez, ésta transmite el calor a los líquidos de la clara y de la yema para finalmente provocar la desnaturalización de sus proteínas a 65 °C para la primera y 70 °C para la segunda. Aunque el agua esté en ebullición, no significa que ésa sea la temperatura interior del huevo.

Se ha comprobado matemáticamente que el tiempo de cocción aumenta con el cuadrado del diámetro del huevo; así, uno de 40 mm tomará 60% del tiempo de otro de 50 mm; en este último caso, la energía tiene que viajar más para alcanzar el centro y por

eso uno de avestruz requiere tres o más horas. En esta transferencia se debe tomar en cuenta que entre más pequeño sea el huevo, mayor será el grosor de la cáscara y más resistencia tendrá al paso del calor. Un huevo en el refrigerador, a 5 °C, necesita 15% más de tiempo que uno en la alacena a 23 °C. Además, un mayor contenido de clara acelera la cocción, ya que sus proteínas se desnaturalizan más fácilmente que las de la yema.

El tiempo (t) en minutos que se requiere para llegar a una determinada temperatura en °C en el centro de la yema (Ty), depende de la temperatura del agua de cocimiento (Ta), de la temperatura del huevo antes de cocerlo (Th) y de su diámetro (d) en milímetros, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$t = 0.0015\, d^2 \log_e \frac{2\,(Ta - Th)}{Ta - Ty}$$

El recipiente utilizado también influye, ya que los materiales de alta conductividad térmica, como el cobre, favorecen el calentamiento por la rápida formación de corrientes de convección; a su vez, éstas también dependen de la cantidad de agua y de la forma y tamaño del propio recipiente.

La energía acumulada en el huevo seguirá actuando sobre las proteínas después de extraerlo del agua y provocará un sobrecocimiento que puede evitarse al introducirlo inmediatamente en agua fría; este cambio brusco de temperatura también favorece el pelado, ya que contrae la clara y yema flexibles y hace que se desprendan de la cáscara rígida.

Este ejemplo se repite en el calentamiento de muchos otros productos y también se han desarrollado ecuaciones matemáticas que lo explican. Por ejemplo, la cocción de un trozo de carne depende directamente del porcentaje de tejido conectivo y de hueso y es inversamente proporcional a su grosor; al duplicar el espesor necesitan cuatro veces el tiempo de cocción. Asimismo, para cocer una albóndiga se necesita un tiempo proporcional a su masa elevada a la potencia $\frac{2}{3}$. Estas breves descripciones muestran la complejidad termodinámica que existe en un sencillo tratamiento térmico, que es extrapolable a cualquier procedimiento casero o industrial que implique una transferencia de calor.

Calentamiento en la cocina

Los métodos de calentamiento en la cocina pueden ser en *húmedo,* que incluye la cocción en agua, en olla a presión y en vapor; y en *seco,* como la fritura, el horneado, el rostizado y las microondas; los que se recomiendan desde el punto de vista nutricional son los que no implican la adición de aceite, como en agua, vapor y microondas. En cada sistema de calentamiento se emplea un medio transmisor y condiciones específicas de temperatura y tiempo para lograr cambios específicos en las proteínas, los hidratos de carbono, los lípidos y otros componentes; en su conjunto, todas estas transformaciones proporcionan las propiedades sensoriales típicas de cada alimento cocinado.

Cocción en agua en recipiente abierto

Es el sistema de calentamiento que más se utiliza, ya que emplea un medio transmisor eficiente, disponible, barato e inocuo. La alta conductividad térmica del agua produce corrientes de convección que agitan el alimento y facilitan la transferencia de energía; además, evitan que los alimentos amiláceos se adhieran, como sucede con las pastas. Por ser un sistema no hermético (expuesto a la presión atmosférica aun con la tapa puesta), la máxima temperatura alcanzable es la de ebullición; como vimos antes, el agua hierve a 100 °C a nivel del mar, y varía de acuerdo con la altitud de cada lugar; por ejemplo, en la Ciudad de México hierve a 92.8 °C. Esto significa que a pesar de que se incremente la intensidad de la flama, la temperatura no subirá más allá de la de ebullición y lo único que se logrará será una evaporación más rápida; Si requiere más de 100 °C utilice la olla a presión.

Para evitar la pérdida de agua por vaporización, se acostumbra colocar la tapa al revés y verter agua fría en el espacio cóncavo; de esta forma, el vapor generado se condensa en gotas al contacto con el interior de la tapa fría y así se reintegra al líquido.

Este calentamiento se emplea para vegetales y carnes duras ricas en colágeno; el agua siempre debe cubrirlos, ya que si se exponen al aire se deshidratan y endurecen. Debido a que la presencia de agua inhibe la reacción de Maillard, el sabor de la carne cocida se debe a la hidrólisis de proteínas y de grasas y a la solubilización del colágeno, además de las especias y condimentos añadidos. El contacto con el agua provoca la lixiviación o extracción de compuestos hidrosolubles, como pigmentos, vitaminas y minerales, y para evitarla se recomienda una cocción rápida.

Una variación de este sistema es el baño María, que consiste en calentar productos de forma indirecta sin que tengan contacto con el agua durante la cocción. Otra variante es el calentamiento denominado *braiserie* (cacerola en francés) que implica el uso de aceite y agua en un recipiente cerrado.

Escaldado o blanqueado

Es un pretratamiento casero o industrial que se aplica antes de la congelación, deshidratación o enlatado de vegetales y que sirve para desactivar enzimas, expulsar el aire atrapado en los tejidos (sobre todo los de hojas), reducir la cuenta microbiana, fijar el color verde y facilitar el acomodo de los productos foliáceos en el envase. Las enzimas deben eliminarse, ya que de lo contrario actúan durante el almacenamiento, aun de los congelados, y causan alteraciones indeseables como la destrucción de la vitamina C y el oscurecimiento. En la cocina, las verduras se escaldan al sumergirlas en agua a ebullición por 1 a 3 minutos, lo que depende del tamaño y dureza o maduración; inmediatamente después se enfrían en agua con hielo para detener las reacciones y con esto evitar una cocción interna. Se pueden congelar en bolsas de plástico impermeables al oxígeno y se elimina la mayor cantidad de aire en el envase. El escaldado y enfriamiento también se emplean para pelar las verduras y frutas, ya que la expansión y contracción de la piel y la pulpa se produce con diferentes velocidades, lo que provoca su separación.

Este tratamiento forma parte del enlatado industrial y consiste en calentar las latas de verdura o fruta con el líquido de cobertura entre 85 y 90 °C para inmediatamente después cerrarlas (vea en el capítulo 6 la sección Envasado en latas).

Olla a presión

A diferencia de la cocción en agua en recipiente abierto, donde la máxima temperatura es 100 °C por estar a una presión atmosférica de 760 mm Hg (al nivel del mar), la olla a presión alcanza de 118 a 120 °C, lo que se logra porque el vapor generado no se pierde y al mantenerse adentro aumenta la presión interna a unos 1 300 mm Hg y con ello aumenta la temperatura de ebullición del agua, de acuerdo con la figura 1.2. De hecho, en una olla a presión común el agua no hierve, aun cuando esté a 120 °C. Éste es el mismo principio de operación de las retortas industriales de esterilización.

Este incremento de 20 °C acelera considerablemente las reacciones y así, con cada 10 °C de aumento se duplica su velocidad (Q_{10} = 2); por lo tanto, al pasar de 100 a 120 °C se cuadruplica. Este cambio tan radical provoca que el tiempo de cocción se reduzca hasta en diez veces, igual que el consumo de energía. La olla a presión es adecuada para cocer carnes, leguminosas, verduras, frutas y cereales muy duros, y es muy recomendable utilizarla en sitios de gran altitud, por ejemplo en la alta montaña, donde la temperatura de ebullición del agua es muy inferior a 100 °C.

El primer vapor generado con la tapa cerrada debe eliminarse para arrastrar el aire ocluido que es poco conductor y cuya presencia entorpece la transferencia de calor e incrementa el tiempo de cocción. El calentamiento subsecuente satura de vapor la olla e incrementa la presión hasta alcanzar aquella máxima con la que se calibra la válvula de seguridad y que corresponde a unos 118 a 120 °C (figura 1.2); al sobrepasar esta presión, la válvula se abre y libera el vapor adicional para no llegar a una presión interna peligrosa. La válvula de seguridad es la que determina la máxima temperatura, y ésta no aumenta a pesar de que se incrementa la intensidad de la flama; lo único que se logra es una mayor vaporización.

Cocción con vapor

El vapor no es tan buen conductor del calor como el agua, y se utiliza para la cocción lenta de pescados y verduras, entre otros alimentos; recientemente su uso se ha incrementado para reducir el consumo de productos fritos, ricos en grasas. La vaporera se llena de agua hasta cierta altura sin sobrepasar la parrilla metálica sobre la cual se coloca el alimento; el calentamiento genera vapor que satura el recipiente, sin que el agua tenga contacto con el producto y por ello no hay lixiviación de nutrimentos.

Este cocimiento es típico de los tamales, pero también en la elaboración de la barbacoa, especialmente la que utiliza la técnica de cocimiento bajo tierra. En este caso, se colocan piedras que se calientan con la combustión de la leña y la carne, que puede ser de borrego, conejo, etc., se envuelve en pencas de maguey y una vez dentro del hoyo, todo se cubre con tierra para llevar a cabo la cocción por varias horas. No hay contacto directo con

el fuego y el vapor generado internamente por la carne propicia su cocción. Las paredes alcanzan los 300 °C, radían calor y calientan el aire que, a su vez llega a la barbacoa por convección; la grasa del animal se funde y produce una ligera fritura. Así pues, la elaboración de la barbacoa implica un método mixto de calentamiento, parecido a lo que sucede con el *pib,* horno subterráneo de uso común en el estado de Yucatán para elaborar la cochinita pibil, envuelta en hojas de plátano.

Freído

Como se mencionó antes, la cocción en agua en recipiente abierto alcanza hasta los 100 °C; en olla a presión, 120 °C; mientras que en el freído se alcanzan los 180 °C o más; estas condiciones tan drásticas son posibles porque el aceite, como medio transmisor de calor, se mantiene líquido y sin alterar. Básicamente el freído se efectúa de dos formas: con la sartén y poco aceite se hace el salteado de piezas pequeñas, como el jitomate picado o las verduras en cubo o juliana, o bien el freído profundo con una freidora para las papas fritas, los productos capeados, el chicharrón, las típicas carnitas, las botanas y otros productos industrializados. Existen variaciones del método tradicional, como el llamado *stir-fry* que es una combinación de freído con cocción a vapor.

El freído profundo es un calentamiento en seco que provoca la deshidratación, la reacción de Maillard y la caramelización en el exterior del alimento, manteniendo húmedo el interior como ocurre en pescados, pollos y donas. En algunos casos, como en las carnitas, se añade leche condensada y jugo de limón además de la sal y los condimentos empleados, para favorecer la reacción de Maillard que le proporciona el color y parte de su aroma característico.

Para lograr un freído óptimo deben considerarse varios factores. De inicio, el aceite está propenso a la rancidez oxidativa catalizada por la luz, el oxígeno y algunos metales. Además, debe tener un alto punto de humeo para evitar la contaminación del alimento con malos olores; este parámetro se reduce por la adición de sal antes o durante el freído, pero también por los ácidos grasos libres generados en la rancidez hidrolítica que ocurre al contacto de un alimento con alto contenido de humedad con el aceite caliente. Cabe recordar que los ácidos grasos libres son más propensos a la rancidez oxidativa que en estado de triglicérido. El punto de humeo también se reduce en los aceites reusados y por una intensa exposición a la luz y al aire.

La alta temperatura del aceite hace que el agua externa del alimento se vaporice de inmediato, lo que causa salpicaduras y espacios vacíos que se llenan con el lípido; entre menos agua se utilice, más crocante será el producto y quedará menos aceite retenido. Estas mismas condiciones inducen la reacción de Maillard en los productos ricos en sacarosa, glucosa, lactosa o maltosa; en este sentido es importante considerar que en las papas existe una transformación reversible entre sus contenidos de glucosa y de almidón dependientes de la temperatura de almacenamiento, de tal forma que sintetizan más del primero cuando se refrigeran. El freído de este tubérculo con alto contenido de glucosa provoca su oscurecimiento inmediato y la generación de sabores amargos; antes de freírse; si están refrigerados, deben atemperarse por días para convertir la glucosa en almidón. De igual manera, entre más delgado sea el trozo de papa, más rápida será la gelatinización del almidón y su cocción, sin dar tiempo a que ocurra la reacción de Maillard.

A menor temperatura de freído, mayor tiempo de contacto y más absorción de aceite. Sin embargo, no siempre se pueden alcanzar 180 °C, sobre todo con piezas grandes como un pescado entero, debido a que se propicia su cocimiento externo, manteniendo crudo el interior. En estos casos se fríe en el rango de 130 a 140 °C, con el riesgo de tener un producto más grasoso. Entre más pequeña sea la pieza a freír y más alta la temperatura, habrá menos absorción. La temperatura de freído se abate por la introducción de alimentos fríos o con alto contenido de agua; este descenso se compensa con 10 °C adicionales sobre la temperatura deseada.

El capeado reduce la absorción de aceite de freír y las salpicaduras, aun cuando en su fórmula lleve agua; de cualquier forma, los alimentos deben introducirse lo más secos posible para evitar el desprendimiento del almidón del capeador que puede caramelizarse y formar pequeñas partículas oscuras y amargas. Para este fin, es costumbre dejar el alimento capeado unos minutos a la intemperie antes de freírlo, con lo que se propicia su deshidratación superficial y se favorece una mayor retención de su agua por puentes de hidrógeno a través de las proteínas y los hidratos de carbono.

Al contacto con el aceite caliente, el almidón del capeador se gelatiniza y sus proteínas se desnaturalizan, formando una malla que evita la salida de agua; a su vez, ésta se convierte en el vapor que realiza la cocción interna del alimento. Si el capeado se rompe, penetra el aceite, sale el agua como vapor y ocurre una sobrecocción y deshidratación; por ello el capeado debe ser grueso, con menos de 50% de agua y de preferencia con huevo para que las proteínas aglutinen fuertemente los ingredientes.

Además del tradicional aceite de soya, se emplean otros aceites vegetales pero también la mantequilla, que contiene proteínas del suero, como la β-lactoglobulina y la α-lactoalbúmina que a altas temperaturas favorecen la reacción de Maillard y otras transformaciones que propician su oscurecimiento y generación de aromas indeseables, es decir, *se queman*; en este sentido, es mejor usar la mantequilla clarificada (vea en el capítulo 8 la sección Mantequilla).

La cantidad de aceite absorbido por el alimento es muy variable y depende de diversos factores, pero llega a 40% o más y se refleja en las calorías que producen los alimentos fritos; por ejemplo, 100 g de papa cocida en agua generan aproximadamente 80 kcal, mientras que frita, 430 kcal. Para reducir la cantidad de aceite se sugiere preparar la fritura en el menor tiempo posible, con capeadores y con drenado del alimento frito; este último se acelera considerablemente si se hace al vacío.

Una variación de la fritura son las papas suflé (del francés *soufflé,* soplado) que se elaboraron por primera vez debido a un accidente: un cocinero guardó papas parcialmente freídas y después las frió de nuevo. Se utilizan papas de tamaño pequeño (unos 3 cm de diámetro) remojadas en agua para eliminar el almidón soluble y la glucosa y se fríen en dos etapas. La primera es a 135 °C para inducir un sellado de la superficie y mantener el agua interior; la segunda fritura se hace a 180 °C, condición que propicia la generación de vapor que infla (de ahí su nombre) la papa.

Los freidores industriales son de acero inoxidable y se diseñan para que el aceite tenga el menor contacto posible con el oxígeno y la luz; mantienen una temperatura constante, cuentan con filtros para eliminar partículas quemadas y emplean aceites con antioxidantes parcialmente hidrogenados para reducir la insaturación y evitar la oxidación.

Para evitar la oxidación de su aceite, los productos fritos se envasan en bolsas de plástico con nitrógeno, lo que elimina el oxígeno, y opacas para evitar la influencia de la luz solar.

Horneado

Otro sistema de calentamiento en seco es el horneado, que se lleva a cabo con corrientes de aire caliente de baja conductividad térmica y densidad; las moléculas del gas chocan contra el alimento de manera menos frecuente que en una cocción en agua, hay menor transferencia de energía, toma más tiempo y es adecuado para piezas grandes de carne que requieren mayor exposición para que el calor llegue al centro.

La deshidratación externa del alimento en el horno se provoca entre los 250 y 260 °C, así como la reacción de Maillard y la caramelización responsables de colores y aromas tan atractivos que propicia la adición de azúcar o el barnizado con mantequilla. El horneado es adecuado para carnes suaves que mantienen su humedad interna, ya que las duras se endurecen aún más; una vez cocida, la carne debe mantenerse en el horno por algunos minutos con la puerta abierta para que los líquidos internos migren a la superficie y la humedezcan.

La temperatura del horno es muy importante y se regula mediante termopares que constan de una varilla metálica colocada cerca de la flama y cuya dilatación por efecto del calor regula el suministro de combustible; esta temperatura no es la que existe en el interior del producto que sólo alcanza la de ebullición del agua y cuyo vapor es responsable de la cocción interna. Cabe indicar que la temperatura puede variar entre hornos, lo que depende de la distancia del termopar a la flama.

Rostizado

De todos los métodos de calentamiento, el rostizado implica las mayores temperaturas: hasta 1 600 °C, que se alcanzan por la combustión de madera o gas y a las que se exponen directamente los alimentos; la distancia entre la fuente calorífica y el producto es decisiva, pero siempre ocurre la reacción de Maillard y la caramelización en el exterior, mientras que en el interior se forma vapor que es responsable del cocimiento.

El calor se transfiere principalmente por radiación y un poco por convección a través del aire que separa el alimento de la fuente calórica. Las piezas delgadas permiten una rápida transferencia de calor por conducción hacia el interior, antes de que el exterior se sobrecueza. Cuando se realiza al aire libre la evaporación superficial del agua y la formación de una costra se aceleran, mientras que en un horno cerrado se mantiene la humedad y la deshidratación se retarda. Las brochetas metálicas favorecen la cocción interna de la carne debido a que son buenos transmisores de calor. Igual que en el horneado, una vez rostizada la carne es importante mantenerla unos minutos para facilitar la migración de líquidos hacia la superficie.

El rostizado con gas doméstico puede formar un anillo rosado de nitrosomioglobina debido a que su combustión produce dióxido de nitrógeno (NO_2) y óxido nítrico (NO), que a su vez reaccionan con la mioglobina, igual que sucede con los nitritos en la elaboración del jamón.

Efecto negativo de las altas temperaturas

En general, el calentamiento de los alimentos es benéfico; sin embargo, a temperaturas elevadas como las del freído, horneado y rostizado, se pueden sintetizar compuestos químicos con potencial tóxico.

En el freído con aceites reusados y oxidados se produce el *benzantraceno,* un hidrocarburo aromático policíclico que también está presente en el tabaco y al que se le atribuye propiedades carcinogénicas. Las *aminas heterocíclicas* se forman por la reacción de la creatina y creatinina con aminoácidos en la superficie de la carne horneada y rostizada donde es mayor la temperatura. Los *hidrocarburos policíclicos aromáticos* (PAH, por sus siglas en inglés) se generan con la grasa que escurre al carbón y se quema, aun cuando no sucede cuando el carbón se encuentra en forma de cenizas.

La *acrilamida* se sintetiza a 120 °C o más por la reacción entre la glucosa y la asparagina en el freído, horneado, rostizado y tostado del café y de nueces; su toxicidad es controversial porque se le atribuyen efectos neurotóxicos, teratogénicos y mutagénicos, motivo por el cual la OMS recomienda un consumo máximo de 0.1 mg/kg de peso por día, o bien 7 mg para un individuo de 70 kg; para entender este límite, considere que las papas fritas la contienen en aproximadamente 0.45 mg/kg y el café, en 0.3 mg/250 mL de una taza, por lo que se necesitaría ingerir 15.5 kg de papas o 23 tazas de café por día para llegar al máximo recomendado. Para reducir la acrilamida en productos de la panificación se ha propuesto una levadura que consume la asparagina, sin perder su capacidad fermentativa, o bien directamente la asparaginasa, enzima que provoca esta reacción.

El *benzopireno* es otro tóxico presente también en el humo del tabaco, durante el tostado del grano de café y en la cocción de la carne por rostizado, donde la formación del compuesto depende de la distancia que haya entre las brazas de carbón y la carne; los cortes muy cercanos pueden contenerlo hasta en 10 μg/kg de carne, mientras que los alejados a 7 cm o más en 0.7 μg/kg, cantidad inferior a la máxima de 1 μg/kg recomendada para consumo humano.

El *furano* que se emplea en la fabricación de diversos compuestos químicos se sintetiza en los alimentos ricos en hidratos de carbono sometidos a 120 °C o más; en pruebas de laboratorio se ha comprobado su actividad cancerígena, pero esto no se ha confirmado en humanos; se encuentra en el café hasta 2 mg/kg, igual que en cereales tostados.

Materiales para altas temperaturas

El éxito de los tratamientos térmicos hasta aquí tratados depende en buena medida de las características de los utensilios empleados. En este sentido, el recipiente ideal debe estar fabricado con un material que cumpla las siguientes condiciones: tener una alta conduc-

tividad térmica; responder rápido al control de temperatura; distribuir de forma homogénea el calor, sin puntos calientes; ser resistente mecánicamente, tanto a los ácidos como a los detergentes, y además, ser barato. En realidad no existe un material que reúna todas esas características y los que están disponibles tienen ventajas y desventajas.

En términos de conductividad térmica es mejor la plata, seguida del cobre, aluminio, hierro, acero inoxidable, vidrio, porcelana y, al final, la cerámica. Descartando la plata, el cobre es el más adecuado porque provee una temperatura homogénea aun con una flama mal distribuida; por eso sus peroles se usan para freír carnitas y chicharrones. Sin embargo, se decolora con detergentes alcalinos en agua caliente y con los ácidos, como los del jitomate o del vinagre, que lo atacan y lo solubilizan en el alimento; esta solubilización se reduce en presencia de grasas y aceites, como los del freído. Además, como ya se indicó, los recipientes de cobre favorecen la formación de un complejo muy brillante y atractivo con la clorofila (vea en el capítulo 2 la sección Clorofila). Para aprovechar sus ventajas y eliminar sus desventajas, las ollas y sartenes de cobre se recubren con acero inoxidable.

El aluminio conduce el calor con una eficiencia de 55% de la plata, es más reactivo que el hierro ya que libera electrones fácilmente y se disuelve con ácidos, sobre todo en presencia de sal, lo que confiere un sabor metálico al alimento. Las aguas duras con calcio y magnesio y los detergentes alcalinos lo manchan de negro, pero se limpia fácilmente con vinagre o jugo de limón. Los cambios bruscos de temperatura lo deforman cuando el grosor es delgado e igual que con el cobre, muchos de sus problemas se resuelven recubriéndolo con acero inoxidable. El aluminio se ha relacionado con problemas renales y, por ende, algunas personas no lo recomiendan en los utensilios de cocina; contra esta postura está el amplio consumo de antiácidos a base de hidróxido de aluminio.

El aluminio anodizado se fabrica sumergiendo una lámina de aluminio en un baño con ácido sulfúrico, al que se le pasa una corriente eléctrica; con esto se deposita una capa inerte de óxido de aluminio, 30% más dura que el acero inoxidable, más resistente a los ácidos, pero sensible a los detergentes alcalinos y a las raspaduras.

El tradicional sartén de hierro o de lámina negra, es poco conductor (18% de la plata) y para protegerlo de la oxidación se acostumbra quemar aceite en su superficie a fin de crear una costra que llene los poros del metal para que no se peguen los alimentos, como los huevos fritos; sin embargo, los detergentes alcalinos la desprenden y hasta hace poco tiempo se solían guardar con aceite para su protección. Tal como sucede con todos los recipientes metálicos, el incremento del grosor mejora su resistencia mecánica, reduce la deformación térmica y acumula calor que permite mantener constante su temperatura.

El acero inoxidable es una aleación de hierro con 18% de cromo y 10% de níquel, con tan sólo 4% de la conductividad de la plata y, además, con una distribución heterogénea del calor. Para eliminar los puntos calientes, sus sartenes llevan un alma de cobre o de aluminio de 1.6 a 1.8 mm como fondo difusor. Es atacado por la sal, sobre todo a altas temperaturas, por detergentes fuertes y materiales abrasivos como las fibras para lavar y por los ácidos, lo que provoca el desprendimiento del níquel.

El vidrio es frágil y sensible a los cambios bruscos de temperatura, y debido a su baja conductividad térmica la cocción de los alimentos toma más tiempo que con los metales; sin embargo, por esta misma razón, la conservación de los alimentos calientes es mejor

en vidrio que en metal. El Pyrex contiene boro y alúmina que le proporcionan resistencia a cambios térmicos y eleva su punto de reblandecimiento. La porcelana y la cerámica conducen mucho menos el calor que los metales y son más aislantes y frágiles al impacto mecánico. A diferencia de los utensilios metálicos, éstos pueden emplearse en el horno de microondas.

Al contacto con una superficie caliente, las proteínas se desnaturalizan y se adhieren, *se pegan*, sobre todo a más de 100 °C; el resultado es una proteína deshidratada que genera una costra quemada de colores y olores desagradables. Para evitar esto, el alimento debe mantenerse en constante movimiento, o bien usar Teflón, un polímero sintético antiadherente de tetrafluoretileno en el que cada átomo de carbono se liga fuertemente a dos de flúor, integrando una cadena lineal muy sólida e inerte a los ácidos, sales y álcalis; sólo calentándolo a más de 300 °C por varias horas libera vapores tóxicos, hecho que no se presenta en la preparación normal de alimentos. El grosor del recubrimiento con Teflón depende del uso: 0.7 mm para horneo y 1.3 mm para freído.

Papel aluminio

Este material es un buen aislante térmico que mantiene por algún tiempo la temperatura de alimentos, tanto calientes como fríos. Debido a esto, no es conveniente introducir al refrigerador productos calientes envueltos en aluminio, ya que el enfriamiento tomará mucho tiempo; es mejor utilizar plásticos que transmiten fácilmente el calor y se enfrían más rápido.

Por su proceso de fabricación, el papel aluminio tiene dos caras: una brillante y otra opaca; la primera refleja las radiaciones y en consecuencia debe estar hacia el exterior en los alimentos fríos para evitar que absorban calor; en cambio, debe quedar al interior en productos calientes para mantener la temperatura.

El papel aluminio crea una pila eléctrica cuando al mismo tiempo está en contacto con otro metal, como el hierro, y un conductor eléctrico, como una salsa ácida de jitomate. Debido a que el hierro, incluso el que forma parte del acero inoxidable, tiene sus electrones más fuertemente unidos que el aluminio, se crea una corriente en la que el aluminio se oxida al perder electrones y el primero se reduce al ganarlos. En el punto de contacto, el papel aluminio se mancha por la disolución de material en el ácido de la salsa; por ello no es recomendable guardar alimentos muy ácidos en recipientes metálicos y cubiertos con papel aluminio, es mejor usar envases de vidrio o de plástico.

Para evitar el consumo de frituras, el papel aluminio se emplea en la cocina para preparar los alimentos *empapelados,* sobre todo pescados; para esto el alimento se envuelve con todo y sus aderezos, salsas, etc., en este material y se coloca bien sellado sobre una plancha caliente. Debido a su bajo grosor es mejor conductor del calor que un sartén del mismo metal, y de inmediato se incrementa su temperatura interior hasta alcanzar la generación de vapor que es el agente responsable de la cocción. Por ser buen aislante, el papel aluminio mantiene la temperatura del producto cocido.

Un material permeable al oxígeno favorece la oxidación de pigmentos, grasas y vitaminas y de otras moléculas insaturadas y con ello la rancidez, el decoloramiento y la destrucción de nutrimentos. En el caso de vegetales frescos, la entrada excesiva de aire acelera la respiración y, como consecuencia, la maduración y generación de bióxido de carbono que debe expulsarse debido a que su acumulación provoca el envenenamiento; el exceso de oxígeno es dañino, pero también su ausencia total, porque cuando el empaque no permite su entrada se genera una atmósfera anaeróbica en la que muere el vegetal.

6

Conservación industrial de los alimentos

Desde tiempos inmemoriales la conservación de los alimentos ha sido una actividad de mucha importancia para la humanidad, y que civilizaciones como la azteca, egipcia, griega, inca y romana llevaban a cabo con métodos basados en el calentamiento, el salado, la fermentación, el secado y hasta el recubrimiento de carnes con grasa animal.

Por su composición, pH y *Aa*, los alimentos frescos, sean de origen animal o vegetal, deben someterse a un proceso de conservación, porque de lo contrario su vida útil se reduce, en el mejor de los casos, a unos cuantos días. El deterioro puede ser sólo sensorial, como cambio de color o de sabor, pero suficiente para que el consumidor rechace el producto; en otros casos implica el crecimiento microbiano que afecta, además de la calidad, la inocuidad del alimento y pone en riesgo al consumidor.

Todos los alimentos se echan a perder o se deterioran en función de tres mecanismos:

a) *Por contaminación microbiana* con bacterias, hongos y levaduras que pueden crecer en casi todos los alimentos, sobre todo en los frescos: carnes, leche, pescado y vegetales; es la más común de las tres contaminaciones accidentales y se favorece al tener condiciones ideales de crecimiento, como las indicadas en CHATTO (vea en el capítulo 4 la sección Contaminación biológica).

b) *Por enzimas endógenas,* principalmente las que propician la maduración porque ésta, a su vez, propicia la pudrición de los vegetales; también influyen las que provocan la rancidez oxidativa, el oscurecimiento, la destrucción de vitaminas y de pigmentos, la putrefacción de alimentos ricos en proteínas y la generación de compuestos muy olorosos, como los del pescado.
c) *Por reacciones químicas,* es decir, por las modificaciones catalizadas por las altas temperaturas, el oxígeno, la luz y los metales como la rancidez oxidativa, la reacción de Maillard y la degradación de pigmentos.

Cada uno de los tres mecanismos anteriores ocurre en determinados alimentos y en ciertas condiciones, y en muchos casos al mismo tiempo o de forma secuencial; por ejemplo, una vez que los vegetales maduran por la acción de las enzimas endógenas, se vuelven muy susceptibles a una contaminación microbiana, al oscurecimiento enzimático y a la rancidez oxidativa.

Para controlar o eliminar estos tres procesos de deterioro, se utilizan sistemas de conservación basados en principios físicos, químicos o biológicos:

a) *Físicos*: empaques protectores, calentamiento, refrigeración, congelación, reducción del contenido de agua, reducción de oxígeno, radiaciones, pasteurización hiperbárica y microfiltración, entre otros.
b) *Químicos*: uso de conservadores, sal, azúcar, ácidos, humo y otros aditivos.
c) *Biológicos*: fermentaciones.

En el cuadro 6.1 se muestran los métodos de conservación físicos, químicos y biológicos y los parámetros en los que basan su funcionalidad.

Generalidades sobre empaques

Todos los alimentos, tanto los que se elaboran en casa como de forma industrializada, se conservan, transportan y almacenan en diversos empaques; si éstos fallan, se propician contaminaciones microbiológicas y reacciones químicas que causan deterioro y aun las ETA. Los empaques son de metal, vidrio, papel, cartón laminado y plástico, y cada material tiene propiedades específicas que lo hacen el más adecuado para el fin que se persigue. Entre las principales propiedades de estos materiales destacan las siguientes:

- Resistencias mecánica, térmica y química.
- Permeabilidad a gases: oxígeno, bióxido de carbono y vapor de agua.

Cuadro 6.1 **Parámetros de influencia en los que se basan los principales métodos de conservación.**

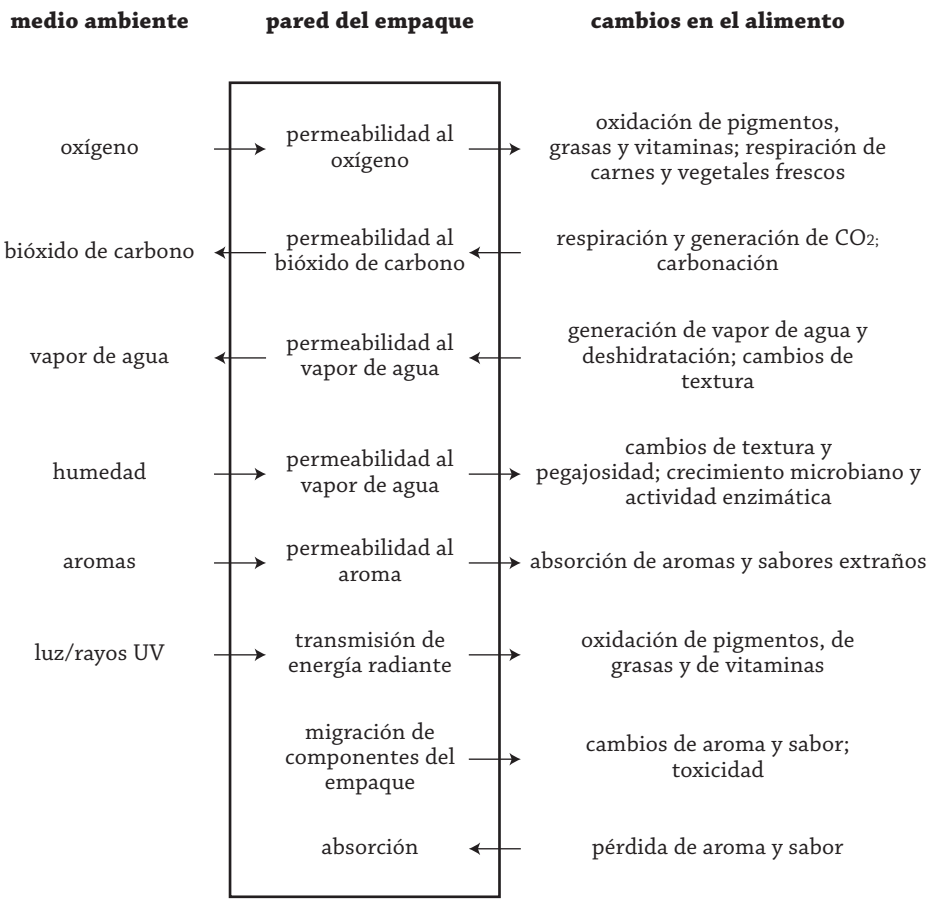
		Parámetros de influencia								
		Alta temperatura	Baja temperatura	*Aa*	pH	Control de oxígeno	Aditivos	Energía ionizante	Presión	Micro organismos
Métodos de conservación	Empaques					X	X			
	Esterilización/pasteurización	X								
	Refrigeración/congelamiento		X	X						
	Concentración/deshidratación	X		X						
	Alimentos de humedad intermedia			X	X		X			
	Ahumado	X		X						
	Atmósferas controladas					X				
	Conservadores, salado, azucarado, acidificación			X	X		X			
	Radiaciones							X		
	Pasteurización hiperbárica								X	
	Fermentaciones				X		X			X

- Permeabilidad a la luz y a los rayos UV.
- Reactividad química con algunos componentes del alimento y que puede causar cambios indeseables.

El alimento, el empaque y el medio ambiente que los rodea establecen un sistema dinámico a través del cual ocurren diversas interacciones y transformaciones (figura 6.1), que dependen de la naturaleza del empaque.

Así, un material permeable al oxígeno favorece la oxidación de pigmentos, grasas y vitaminas y de otras moléculas insaturadas y con ello la rancidez, el decoloramiento y la destrucción de nutrimentos. En el caso de vegetales frescos, la entrada excesiva de aire acelera la respiración y, como consecuencia, la maduración y generación de bióxido de

Figura 6.1 **Interacciones entre el alimento, el empaque y el medio ambiente.**



carbono que debe expulsarse debido a que su acumulación provoca el envenenamiento; el exceso de oxígeno es dañino, pero también su ausencia total, porque cuando el empaque no permite su entrada se genera una atmósfera anaeróbica en la que muere el vegetal.

La absorción de humedad a través del empaque causa cambios en la textura de alimentos higroscópicos y en los de humedad intermedia, además de que propicia el apelmazamiento de los polvos; el agua adicional incrementa el *Aa* y favorece las reacciones enzimáticas endógenas y el crecimiento microbiano. En contraste, el empaque puede facilitar la salida de humedad del producto, se deshidrata y se pierde la calidad crocante de los vegetales frescos. Algo semejante ocurre con los aromas que se pierden, o bien se ganan del medio ambiente, como puede ser del refrigerador o la cocina.

La luz visible y los rayos UV afectan al alimento y al plástico del empaque a una velocidad inversamente proporcional a la longitud de onda; mientras más corta sea, como las UV, mayor energía y efecto fotooxidativo sobre moléculas insaturadas tendrá. Por ello algunos plásticos llevan aditivos que filtran los rayos solares.

Además de este intercambio de compuestos entre el alimento y el medio ambiente, también ocurre la migración de plastificantes, pigmentos y monómeros propios del material de empaque hacia el producto; en este sentido destaca el bisfenol A (vea en el capítulo 4 la sección Otros contaminantes químicos).

El diseño del empaque y el material empleado se hace con base en la naturaleza física y química del alimento, así como con el objetivo y la vida de anaquel requerida. El vidrio forma una barrera total contra los gases, pero no contra la luz, a menos que la etiqueta lo proteja o se pigmente como con los vinos, la cerveza y los medicamentos. El acero y el aluminio son de alta resistencia física, impermeables a la luz y al oxígeno y se pueden someter a tratamientos térmicos muy drásticos, como los que requieren los alimentos ubicados en la zona II de la figura 4.2. La enorme variedad de plásticos se emplea en muchos alimentos, aun cuando hay consumidores que los relacionan con lo sintético.

En los últimos años, la selección del mejor empaque se ha supeditado al cuidado del medio ambiente y a la sustentabilidad; ahora se prefieren empaques cuyos materiales cumplan las tres R para favorecer la ecología: *reducir*, *reusar* y *reciclar*.

Envasado

Se envasan alimentos en metal, vidrio, cartón laminado y plásticos y se utilizan productos que requieren o no de un tratamiento térmico para su conservación. Con esta tecnología se fabrican las conservas, que por definición son *alimentos herméticamente cerrados que a temperatura ambiente y durante largos periodos de almacenamiento conservan sus propiedades sensoriales, nutritivas y de inocuidad*; éstas se elaboran, tanto en la cocina como en la industria, a partir de principios tecnológicos semejantes.

Cuando son alimentos que necesitan calentamiento, éste se hace de dos formas: el producto envasado y cerrado se somete a esterilización, como sucede con el enlatado tradicional de atún, frijoles, sopas y vegetales; o bien de manera indirecta o llenado aséptico donde el alimento, generalmente en forma fluida, se esteriliza por separado y se llena a temperatura ambiente en condiciones asépticas, como ocurre con los envases de cartón laminado para la leche, los purés y los jugos. En cualquier caso, el tratamiento térmico se diseña tomando en cuenta los factores que influyen en la transferencia de calor como viscosidad, densidad, forma y tamaño del producto, esto relacionado con la estabilidad térmica de la enzima o microorganismo que se desea eliminar, así como con el aspecto sensorial.

Los tratamientos térmicos muy intensos aseguran un alimento totalmente inocuo, pero al mismo tiempo causan un daño irreversible al color, sabor, aroma y textura, que pueden provocar el rechazo del producto, además de la inherente destrucción de nutrimentos. Contrario a esto, para conservar los parámetros sensoriales y los nutrimentos se requiere de un calentamiento más benévolo, con el gran inconveniente de no inactivar enzimas y la sobrevivencia de microorganismos dañinos.

El punto óptimo para conseguir los beneficios y evitar los perjuicios de ambos procesos se logra con el uso de tratamientos térmicos a muy alta temperatura por poco tiempo, en lugar de baja temperatura por tiempo prolongado, aun cuando la cantidad del calor suministrado sea igual (figura 5.1). Los primeros se designan como HTST (*high temperature short time*) y se utilizan en la moderna industria de alimentos, además de que ahorran energía.

Diversos estudios han mostrado que los procesos de alta temperatura en poco tiempo retienen más vitaminas y otros nutrimentos que los que se aplican tradicionalmente en el hogar, sobre todo si el cocinero persigue un alimento estéril y abusa del calentamiento.

Los productos ubicados en la zona II de la figura 4.2 son altamente perecederos y generalmente sólo se conservan con un tratamiento térmico. Por otra parte, en los últimos años han surgido más y más consumidores que rechazan los esterilizados y reclaman alimentos *naturales menos procesados*. Para mediar estas dos posiciones surgen los llamados Alimentos Mínimamente Procesados o AMP (*Minimally Processed Foods, MPF*) que se someten a un ligero tratamiento térmico, pero que para complementar su conservación requieren refrigerarse, acidificarse y reducir su *Aa*. Su vida de anaquel es más corta y en muchos aspectos son semejantes a los de humedad intermedia. Paralela a esta propuesta, se han desarrollado algunas tecnologías como la pasteurización hiperbárica y las radiaciones, que no implican la elevación de la temperatura del alimento.

Por otra parte, los envasados que no requieren de un calentamiento para su conservación, por ejemplo mayonesas, aderezos, mostazas y mermeladas**,** deben su estabilidad a su bajo pH y *Aa* y a sus altos contenidos de sal y azúcar y son, en general, clasificados como de humedad intermedia de la zona III (figura 4.2).

Envasado en latas (enlatado)

De todos los envasados, el más conocido es en metal; y se remonta a la época de Napoleón Bonaparte, cuando solicitó a la comunidad científica diseñar un método que le permitiera conservar alimentos por mucho tiempo para sus campañas bélicas. En 1809, Nicolás Appert propuso el sistema, aun cuando él desconocía la existencia de los microorganismos y menos aun de las enzimas; al principio las latas se fabricaban a mano a un ritmo de sólo unas cuantas por hora y se abrían con cincel, pero actualmente las líneas automatizadas producen 800 o más por minuto, y se han diseñado formas más sencillas para abrirlas.

La lata está fabricada de afuera hacia dentro, con una base de hierro (Fe), sobre la cual se deposita una capa de 8 a 32 millonésimas de centímetro de estaño (Sn), que a su vez se recubre con una resina fenólica o de polibutadieno, que es la que queda en contacto con el alimento. Al incrementar el calibre de la hojalata aumenta la resistencia mecánica, pero también el costo y el peso del envase; las nuevas tecnologías usan calibres ligeros que tienen un gran impacto en ahorros por transporte.

El enlatado consiste de tres pasos básicos: llenado, cierre y esterilización. El primero se hace de forma ya sea manual o automática, puede ser de productos sólidos como el atún, viscosos como los frijoles refritos, o fluidos como las sopas y cremas. Para las verduras y frutas se añade una salmuera o un jarabe como líquido de cobertura cuya concentración desempeña una función muy importante. En el caso del jarabe, el azúcar penetra por ósmosis e interactúa con las pectinas, lo que fortalece y endurece el tejido vegetal, pero al mismo tiempo induce una ligera deshidratación y se expulsa agua; sin embargo, con un jarabe muy diluido se provoca que la fruta absorba agua, en lugar de azúcar, se hinche y pierda rigidez, todo conforme a las leyes de la ósmosis.

La lata abierta con el producto y el líquido de cobertura caliente se somete a un escaldado con agua o vapor para eliminar el oxígeno atrapado en el tejido, sobre todo si es de hojas como las espinacas, para desactivar enzimas y también para reducir la cuenta microbiana. Inmediatamente, y aun evaporando agua, la engargoladora cierra la lata cuyo enfriamiento posterior provoca la condensación interna del vapor y la creación de un vacío que hace cóncava la tapa. La eficiencia del escaldado se mide con la actividad residual de las enzimas peroxidasa y catalasa; su ausencia significa un proceso correcto.

Para la esterilización, los alimentos ácidos (pH < 4.6) como jugos de frutas, derivados del jitomate y salsas, requieren menos de 100 °C por algunos minutos, mientras que los no ácidos (pH > 4.6) como carnes, cremas, mariscos, sardinas y frijoles, requieren de 30 a 90 min a 120 °C. Se efectúa en equipos continuos o en autoclaves (también llamadas retortas) que trabajan de forma semejante a la olla a presión, pero en este caso la presión se alcanza con la inyección de vapor. Sólo en estas condiciones de temperatura se eliminan las toxinas y las esporas del *Clostridium botulinum*. El tratamiento es tan intenso que los alimentos no requieren de conservadores y su vida de anaquel es de varios años, siempre y cuando el cierre no sufra un daño mecánico que propicie una contaminación microbiana externa.

En este proceso térmico se destruyen algunas vitaminas, sobre todo la C que puede disminuirse de 20 a 60% dependiendo de diversos factores; además, en el caso de los vegetales puede existir una lixiviación o extracción de sustancias hidrosolubles, como vitaminas y minerales.

Cuando la esterilización es insuficiente sobrevive el *Bacillus stearothermophilus,* productor de gases que inflan las latas de maíz, cárnicos y mariscos. Este abombamiento también lo propicia el hidrógeno generado por la corrosión de la lata, o bien por el bióxido de carbono y el anhídrido sulfuroso provenientes del *Clostridium botulinum*. Debido a la grave toxicidad característica de este último, es mejor desechar las latas infladas sin importar el origen de la alteración.

Las latas de aluminio se emplean para envasar jugos y bebidas, productos ácidos que no requieren tratamientos térmicos tan drásticos como los aplicados para una lata de frijoles. Se llenan de 95 a 100 °C, su peso es sólo el 25% del de la hojalata, y debido a que no son tan resistentes mecánicamente, antes de cerrarlas se les adiciona una gota de nitrógeno líquido que se convierte en gas y ejerce una presión interna que les da rigidez para que no colapsen durante su manejo. Una vez abierta la lata, como sucede con las botellas de plástico con agua, el nitrógeno se escapa y se pierde la rigidez del envase.

Corrosión de las latas

La mala aplicación de la resina provoca la formación de microporos que facilitan el contacto de las sustancias disueltas del líquido de cobertura con el Sn y posteriormente con el Fe. Dichas sustancias funcionan como un electrolito entre el Sn y el Fe, creando una pila que genera una corriente de corrosión que disuelve los metales y produce hidrógeno. En estas condiciones, el metal expuesto se oxida fácilmente por la presencia de oxígeno, en caso de no haberse eliminado en el escaldado; aparecen puntos negros por el desestañado y picaduras, y cuando son excesivas, facilitan la entrada de microorganismos. El pH ácido de jugos y del jitomate, así como las salmueras concentradas y los nitratos de las frutas, aceleran el proceso.

Aun cuando no es propiamente una corrosión, en ausencia de la resina, el estaño expuesto es atacado por los sulfitos provenientes de distintas fuentes: del encontrado de forma natural en frutas, cebollas y ajos; del residual empleado en la refinación del azúcar de mesa, y del añadido como conservador. La reacción da como resultado el sulfuro ferroso que aparece como manchas negras en el interior de la lata.

Envasado en vidrio

El vidrio es un líquido subenfriado amorfo de muy alta viscosidad, con una composición de 70 a 75% de silicatos de sodio y de calcio, de 6 a 12% de óxidos de calcio y sodio,

además de otros compuestos. Es un material impermeable al agua y los gases, pero no a los rayos UV; es frágil, sanitario, reutilizable y el consumidor lo relaciona con alimentos frescos; es inerte a muchos compuestos pero no a los álcalis fuertes y su alto peso incrementa los costos de transporte.

Su superficie externa se puede recubrir con ceras y silicones para hacerla más tersa, protegerla de rasguños y darle mejor apariencia; también se puede pigmentar, como se hace con las botellas ámbar para evitar la fotooxidación de la riboflavina y de la cerveza por la luz UV que induce la síntesis de mercaptanos y otros compuestos de olor desagradable.

El proceso de llenado y esterilización en envases de vidrio es semejante al descrito para el enlatado, aun cuando por su fragilidad se deben tomar muchas precauciones.

Envasado en cartón laminado

El envase de cartón laminado más conocido es el Tetra Brik, más ligero que la lata y el vidrio, y que consiste de un laminado de diferentes películas sobrepuestas que cumplen una función específica; por ejemplo, para productos medianamente ácidos se emplea uno que de afuera hacia adentro incluye: polietileno de baja densidad como barrera a la humedad, papel *kraft* (que en alemán significa "fuerte"; papel elaborado con pasta de celulosa de la madera) para darle rigidez al envase, aluminio para evitar la entrada de gases y, finalmente, en contacto con el alimento, polietileno. La naturaleza y combinación de estos materiales cambia para alimentos más ácidos y salinos, e incluso hay laminados que pueden esterilizarse como si fueran latas.

El envasado en cartón laminado es un proceso aséptico donde todo el sistema está conectado y solamente tiene la entrada del alimento a procesar y la salida del producto terminado. Su aplicación más conocida es con la leche: ésta se pasteuriza o ultrapasteuriza como se indica más adelante (vea en el capítulo 8 la sección Leche pasteurizada, ultrapasteurizada y esterilizada), se enfría y se envía a la llenadora. Previo a su uso, el laminado recibe un baño con agua oxigenada para destruir microorganismos y el exceso de esta sustancia se elimina con un posterior calentamiento. Como todo el proceso está cerrado, no hay contaminación externa y el producto envasado tiene una vida útil que depende de la intensidad del tratamiento térmico y de la eficiencia de las barreras del empaque.

Envasado en plástico

La estructura química de todos los plásticos se basa en una larga cadena o polímero semejante a la celulosa o a la amilosa, integrada por diversos eslabones o monómeros, muchos provenientes del petróleo. Por ejemplo, el gas etileno es una molécula muy sencilla de dos átomos de carbono que, al unirse entre ellas o polimerizarse, produce una cadena llamada polietileno (PE); de la misma forma, el propileno da origen al polipropileno (PP) y el esti-

reno, al poliestireno (PS). Cada una de estas materias primas tiene un tamaño de cadena o peso molecular y una cristalinidad que le confieren determinadas propiedades físicas y químicas; además, pueden estar adicionadas de aditivos para reforzar su resistencia al impacto, para evitar la oxidación por la luz, la radiación UV, etcétera.

La materia prima con aditivos y los distintos métodos de fabricación, sea extrusión, soplo, etc., proporcionan a los envases características muy peculiares agrupadas como sigue:

a) *Mecánicas*. Relacionadas con la elasticidad o rigidez requerida para el manejo cotidiano del envase.
b) *Térmicas*. Para resistir las altas temperaturas, en caso de que sea un envase llenado en caliente o esterilizable.
c) *Ópticas*. Para ver el interior del empaque o para proteger el alimento de la fotooxidación inducida por la luz y los rayos UV.
d) *Químicas*. Para resistir la grasa, la acidez y la salinidad de los alimentos, igual que la alcalinidad de los detergentes.
e) *Permeabilidad a gases*. Para controlar la entrada o salida de O_2, CO_2, nitrógeno, vapor de agua y aromas.
f) *Migración*. De monómeros residuales del plástico al alimento.

Cada grupo tiene una funcionalidad y no hay uno solo que cubra todas las necesidades para producir botellas, charolas, garrafas, tapas, bolsas, películas, y muchos más con una enorme diversidad de usos. Sin embargo, los más comunes son el PE, PP, PS, cloruro de polivinilo (PVC) y polietilen tereftalato (PET); algunos tienen variantes, como los de baja y alta densidad, los biorientados y los lineales, además de que existen mezclas con nailon, poliéster y otros materiales que modifican y mejoran las características mencionadas.

La biodegradación natural de los plásticos toma 100 a 300 años, por lo que son importantes contaminantes ambientales. Para facilitar el reciclado, que es una de las tres R en la sustentabilidad, se debe identificar, separar y procesar cada materia prima; para ello, en el fondo de los envases aparece un triángulo formado por tres flechas con un número en el centro: 1 para PET; 2 PE de alta densidad; 3 PVC; 4 PE de baja densidad; 5 PP; 6 PS, y 7 para mezcla o multicapas.

Los materiales biodegradables, también llamados compostables, bioplásticos, verdes o amigables, son fabricados a base de almidón, colágeno, gelatina, zeína, caseína y ácido poliláctico, más aditivos para incrementar la barrera a la humedad y las resistencias térmica y a la oxidación; muchos de ellos están en la etapa de desarrollo y experimentación. Para restringir la contaminación, estos materiales podrán sustituir a los tradicionales plásticos provenientes del petróleo, ya que sólo toman 6 a 12 meses en biodegradarse.

Los llamados envases activos y materiales inteligentes, actualmente en desarrollo, llevan a cabo una función más allá de la protección tradicional del plástico. Contienen sustancias reactivas, muchas derivadas de la nanotecnología, que reaccionan específicamente con determinados estímulos; por ejemplo, modifican su color con un cambio de temperatura y son adecuados para alimentos que deben permanecer en condiciones muy precisas

de enfriamiento; contienen sustancias que absorben etileno, y son específicamente diseñadas para evitar la rápida maduración de vegetales frescos; detectan la contaminación microbiana con biosensores y liberan agentes para combatirla. Con esta tecnología, por ejemplo, el envase de mayonesa o de *catsup* cambiará de color cuando llegue al término de su vida de anaquel o que prematuramente se deteriore.

Películas protectoras

Las películas plásticas que se emplean en la industria, el comercio y la cocina, se elaboran principalmente con PE de baja densidad y PVC, y son de un grosor de menos de 0.25 mm. El PE, que es el más común, puede ser lineal o biorientado, tiene buena transparencia, se utiliza para las bolsas de supermercado y por ser termoencogible a 80 °C es adecuado para empacar pollos y carnes al pasarlos por un túnel de encogimiento o sumergirlos en agua caliente (en el hogar se usa la secadora de pelo); sin embargo, es reactivo a las grasas de los alimentos, tiene una baja barrera a los gases y permite la entrada de oxígeno y aromas del refrigerador. Cuando se requiere un material menos permeable, se utiliza un laminado, como el Cryovac, fabricado a base de poliolefinas y de alta barrera al oxígeno.

Laminados

Los laminados se fabrican por la sobreposición de dos o más películas de plástico, papel y aluminio; cada una confiere propiedades muy específicas de resistencias mecánica y térmica y de permeabilidad al oxígeno, vapor de agua, luz y rayos UV. El número, la combinación y el grosor de las distintas capas crean un amplio abanico de laminados que se emplean para el envasado, tanto en frío como en caliente.

Entre los más sencillos están los bicapa, como el polibond, elaborado a base de PE y papel bond para gelatinas en polvo, y el polifán, de PE y celofán. Una laminación más compleja es la bolsa de papas fritas, con un exterior de celofán como base de la impresión, seguida de una película de poliestireno contra la humedad, otra de papel para conferir rigidez, una más de aluminio como barrera de gases, y finalmente una interior de PE para evitar la humedad y facilitar el sellado térmico.

Los llamados *pouches retortables* (anglicismo de *pouch*, bolsa y *retort*, autoclave) o *doy pack* (de Doylan, inventor francés), son flexibles, resisten hasta 80 °C, temperatura suficiente para envasar productos ácidos como salsas, *catsup* y aderezos. Se fabrican con PET, PP, poliéster, nailon y aluminio, no permiten el paso de la luz, pero sí el aire que enrancia las grasas; los que llevan poliéster y nailon pierden su barrera al oxígeno con las microondas.

Otros multicapas son los que se emplean en los envases "apachurrables" (*squeezeable*) de mayonesa y mostaza que se llenan en frío, pero que también soportan 80 °C para el

llenado en caliente de las mermeladas. Para el empacado al vacío de carnes, quesos, mariscos y embutidos se aplican películas termoencogibles e impermeables al oxígeno, como el Cryovac; se adapta a la forma del alimento una vez que se succiona el aire mediante bombas de vacío; se evita la entrada de microorganismos y de oxígeno, pero también la salida de humedad y con ello la pérdida de peso por deshidratación. Los metalizados son películas plásticas depositadas con una capa de aluminio, dan una apariencia metálica y mucha impermeabilidad a los gases.

Bajas temperaturas

Los tres mecanismos de deterioro de los alimentos (contaminación microbiana, enzimas endógenas y reacciones químicas), se inhiben a bajas temperaturas; en general, sus valores de Q_{10} son de 2, lo que significa que una disminución de 10 °C reduce su velocidad al 50%. Así, un producto que de 20 °C pasa a –20 °C experimenta cuatro ciclos de 10 °C, equivalentes a una reducción de 94% de cualquiera de estos tres mecanismos. Un efecto de las bajas temperaturas es que abaten la presión de vapor del agua y con ello la *Aa*. En el calentamiento la transferencia de calor es de la fuente caliente, por ejemplo la flama de la estufa al alimento, mientras que en la refrigeración y congelación es del alimento al sistema de enfriamiento.

Tanto la refrigeración como la congelación inactivan a las enzimas y también tienen una acción inhibitoria (bacteriostática) pero no destructiva (bactericida) sobre los microorganismos; una excepción son los cisticercos de la carne de cerdo que se destruyen con 15 días de congelamiento. De hecho, las bacterias empleadas en las fermentaciones industriales se venden refrigeradas o congeladas y una vez atemperadas recuperan su actividad.

Para refrigerar los alimentos por lo general se utilizan sistemas mecánicos de producción de frío, mientras que en la congelación se pueden usar los mismos o bien refrigerantes líquidos que se revisan más adelante.

La producción mecánica de frío se basa en el ciclo de Carnot, inverso al de una máquina de generación de calor y que opera en todos los refrigeradores y congeladores caseros, así como en muchas instalaciones industriales. Es un sistema cerrado de tres elementos unidos con tuberías por donde circula el refrigerante: compresor, condensador (tubo externo en forma de serpentín de un refrigerador casero) y evaporador (serpentín interior y la cámara de enfriamiento). Los refrigerantes a base de clorofluorocarbonos (CFC) han sido sustituidos por hidrofluorocarbonos (HFC) que no afectan la capa de ozono; por su parte, el amoniaco es el principal refrigerante industrial. Este último tiene un punto de ebullición de –33 °C y al llegar al compresor como gas a baja presión y temperatura ambiente se comprime, reduce su volumen y se calienta; pasa al condensador donde se licúa y libera energía hacia el exterior; por eso la parte trasera del refrigerador es caliente, ya que expulsa el calor sustraído; sigue su camino al evaporador, pero en su trayecto una válvula restringe el flujo, reduce su presión y se evapora con el calor sustraído del alimento; el amoniaco continúa su camino al compresor para iniciar un nuevo ciclo.

En el refrigerador, el alimento sólo pierde calor sensible al enfriarse su agua de 4 a 5 °C, mientras que en el congelador ocurre la pérdida del calor latente ya que el agua pasa del estado líquido al sólido (línea *g-h* de la figura 1.2). Estos cambios dependen, entre otros factores, de la conductividad térmica del alimento, que a su vez está sujeto a su tamaño y contenido de sólidos: entre más agua o piezas más pequeñas, mayor transferencia de calor y, en consecuencia, más rápido será el enfriamiento.

Además de este movimiento energético, puede existir otro del vapor de agua del alimento hacia las paredes frías del refrigerador, donde se convierte en hielo; cuando ocurre esto, la superficie del producto se deshidrata y se crea una costra referida como *quemado* que se evita con el uso de películas o empaques impermeables que evitan la salida del vapor de agua, pero que no deben ser aislantes térmicos que limiten la transmisión de calor y entorpezcan el enfriamiento.

Refrigeración

Los refrigeradores domésticos se mantienen entre 4 y 6 °C, mientras que los equipos industriales trabajan desde los 2 °C. En cualquier caso, sus sistemas de enfriamiento están diseñados para una determinada cantidad de producto en ciertas condiciones, y cuando éstas no se observan ocurren descomposturas o una ineficiente operación; esto sucede al introducir grandes cantidades de alimento muy caliente, al utilizar recipientes voluminosos que restringen el flujo de calor, al bloquear la salida del aire frío y al dejar abierta la puerta por mucho tiempo. Estas anomalías provocan que el compresor trabaje más, se desgaste y pierda eficiencia en el enfriamiento, además de que se incrementa el consumo de energía.

En la refrigeración no se forma hielo, el agua permanece líquida y si el tiempo de almacenamiento del alimento no es muy largo, no se afecta el sabor ni la textura o el valor nutrimental. A 4 °C, la vida útil de un producto depende de su pH, *Aa*, composición química y contaminación microbiana; los alimentos ácidos o de baja humedad se conservan por muchos meses, mientras que los no ácidos y de alta humedad como leche, carnes y pescado, sólo algunos días. Los microorganismos siguen reproduciéndose, aunque a menor velocidad, pero llegan a cifras de millones por gramo, lo que provoca el deterioro del alimento; por ello la vida de los productos frescos refrigerados siempre es corta e inferior a la de los congelados. Por otra parte, estas temperaturas provocan daño por frío en las frutas tropicales (vea en el capítulo 8 la sección Conservación de los vegetales frescos) y el endurecimiento del pan por la retrogradación del almidón (vea en el capítulo 1 la sección Almidón). La solubilidad de los gases se incrementa con la reducción de la temperatura, como sucede con el CO_2 de los refrescos y de las cervezas. Los alimentos guardados en el refrigerador con empaques permeables pueden contaminarse con olores de otros productos; así, los aromáticos volátiles liposolubles tendrán como destino los alimentos ricos en grasa, como la mantequilla y la margarina, mientras que los hidrosolubles, los productos ricos en agua, como la leche.

Congelación

El congelador doméstico trabaja en óptimas condiciones alrededor de –18 °C; sin embargo, es común encontrarlo entre –6 y –8 °C. En estas bajas temperaturas los microorganismos, las enzimas endógenas y las reacciones químicas prácticamente no prosperan. Casi toda el agua del alimento está en forma de hielo y sólo 10%, aproximadamente, se encuentra aún en estado líquido debido a que concentra sales, azúcares y aminoácidos que reducen su punto de congelamiento (vea en el capítulo 1 la sección Propiedades del agua). En estos microambientes ocurre la oxidación de grasas y vitaminas y para lograr su total congelación se requieren temperaturas de –30 °C, o hasta –40 °C.

Este sistema de conservación no siempre es benéfico para todos los alimentos debido a que induce la coagulación de proteínas, rompe emulsiones, cristaliza solutos y registra otros cambios negativos

La congelación industrial se lleva a cabo de dos maneras: por el método directo, al poner en contacto el alimento con el refrigerante; o por el método indirecto, en donde el refrigerante no tiene contacto con el alimento, como sucede con el congelador casero.

El método directo, llamado criocongelación, emplea como refrigerante ya sea nitrógeno o bióxido de carbono líquidos, que se obtienen al comprimir estos gases a muy altas presiones. El gas nitrógeno se produce comercialmente a partir de la eliminación del oxígeno del aire (80% N_2 y 20% O_2), mientras que el bióxido de carbono se obtiene de la ruptura del propano o del metano; este gas CO_2 también se utiliza para gasificar las bebidas embotelladas (refrescos) y para crear atmósferas controladas en la conservación de carnes y vegetales (más adelante se describen). Cabe indicar que en esta misma reacción se genera el hidrógeno empleado para la hidrogenación del aceite de soya.

Una vez comprimidos y en estado líquido, tanto el nitrógeno como el bióxido de carbono alcanzan temperaturas inferiores a –50 °C. Se rocian sobre los alimentos o bien se sumergen en ellos productos como fresas, camarones, trozos de pescado, etc. Al entrar en contacto, el refrigerante líquido "toma" el calor del alimento, se vaporiza y regresa a su estado gaseoso, provocando a su vez la inmediata congelación del segundo.

Por su parte, en el sistema de congelación indirecta, el alimento no tiene contacto con el refrigerante y se enfría ya sea por conducción o por convección. En el primer caso, el producto se coloca entre placas metálicas enfriadas internamente, mientras que en el segundo caso se hace mediante fuertes corrientes de aire gélido. En la congelación indirecta se acude al método mécanico antes descrito para la producción del frío, mientras que en la congelación directa no se requiere del compresor, evaporador, condensador, etc., pero el nitrógeno y el bióxido de carbono líquidos son muy costosos.

Ambos métodos de congelación, directa como indirecta, se usan para llevar a cabo el IQF (*individually quick frozen*), sistema que se refiere a que cada pieza —fresa, brócoli, pescado— es congelada de manera individual.

La velocidad de congelación tiene un efecto decisivo en la calidad del producto y puede hacerse de forma lenta, lo que toma varias horas, y es la que sucede en el equipo casero,

o bien de forma rápida, la industrial, que se efectúa en pocos minutos, principalmente por criocongelación. La diferencia entre estos dos sistemas es el tipo, cantidad y tamaño de los cristales de hielo que se forman.

La congelación lenta genera pocos cristales, pero grandes, lo que genera un volumen de 10 a 15% mayor que el del agua líquida; este incremento debe considerarse al llenar un recipiente que será congelado, ya que el alimento puede derramarse y las botellas de agua y los huevos, romperse. Los macrocristales tienen un efecto cortante que daña de forma irreversible las proteínas y los carbohidratos de las membranas celulares de vegetales y cárnicos, lo que deriva en una reducción de su capacidad de retención de agua y de un goteo al descongelarse. Esta pérdida de líquidos reduce la turgencia, los tejidos se hacen flácidos y se deshidratan más fácilmente en la cocción; el agua del descongelamiento de carnes se tiñe de rojo por la liberación de la mioglobina del músculo dañado y el jamón rebanado libera 10% del peso del agua con las sales de curación que le fueron inyectadas en su fabricación. Estas mermas representan dinero cuando el comerciante vende los productos descongelados por su peso. Este proceso es inadecuado para los helados, ya que produce granulosidad; en cambio, es recomendable para destruir los parásitos de la carne de cerdo.

En la congelación rápida se generan muchos cristales pequeños a lo largo de las fibras de los tejidos que no alteran la estructura celular de carnes y verduras; esto permite que, una vez descongeladas, retengan su agua y en consecuencia su textura. Se usa en los helados para formar microcristales imperceptibles en la boca y conservar la tersura, y también en masas de panificación, pescados y muchos otros alimentos; para las verduras se aplica un escaldado previo, mientras que por su delicada textura, para las frutas se añaden jarabes concentrados junto con ácidos cítrico o ascórbico que inhiben enzimas.

Cualquiera que sea el método de congelación que utilice, lento o rápido, los cortes de electricidad provocan descongelamientos parciales que favorecen el crecimiento microbiano y la actividad enzimática; además, al restituirse la energía el producto se congela de nuevo pero con cristales más grandes que dañan los tejidos. Para verificar estas anomalías se emplean termómetros de valores máximo y mínimo que registran estas temperaturas durante el periodo de almacenamiento.

Como se indicó, la congelación casera se efectúa en el mejor de los casos a –18 °C, mientras que la industrial puede ser de hasta –40 °C. Esta temperatura más baja se requiere para conservar ciertos alimentos sensibles, como son los peces de aguas muy frías cuyas enzimas y, en general, su sistema biológico, trabaja a temperaturas gélidas; además, contienen un aceite altamente insaturado susceptible de rancidez oxidativa. Para evitar estas reacciones dañinas, tanto enzimáticas como de oxidación, se requiere congelar y mantener estos peces a temperaturas inferiores a –18 °C.

Además de su uso con fines de conservación, la congelación se emplea en la industria para concentrar jugos mediante el método de dehidrocongelación o crioconcentración. Para llevarlo a cabo, el jugo se congela parcialmente y los cristales formados se eliminan por centrifugación y tamizado, produciéndose una concentración de la pulpa.

Descongelación

Para cocer y preparar alimentos, lo ideal es que del congelador pasen directamente a la sartén. Sin embargo esto no siempre es posible, sobre todo si el producto fue recongelado por segunda o tercera ocasión, en cuyo caso es mejor descongelarlo y examinarlo para determinar su factibilidad de usarlo. La forma más sencilla de descongelar es dejando el producto a temperatura ambiente, adecuada sólo para piezas pequeñas, ya que el exterior se descongela mucho antes que el interior y permite el crecimiento microbiano superficial. Otra forma es transfiriéndolo del congelador al refrigerador para evitar el paso por la zona de peligro. Las microondas no son muy eficientes con piezas grandes, ya que sólo penetran de 2 a 3 cm y pueden cocer la superficie aunque el interior puede permanecer congelado. Otra forma de descongelamiento es mantener el alimento en agua fría, a una temperatura relativamente más alta que el producto congelado.

Una vez descongelado, el alimento puede congelarse nuevamente siempre y cuando no se haya contaminado durante el tiempo que permaneció fuera del congelador; por ello es mejor congelar porciones pequeñas y tomarlas según se necesite. Los ciclos de congelación/descongelación causan muchos daños a la textura, al sabor y al color, además de que propician el crecimiento microbiano. Sin importar la forma de descongelamiento, en el agua que gotea se pierden sabores, pigmentos, vitaminas y minerales hidrosolubles.

Reducción del contenido de agua

Desde hace siglos se sabe que los alimentos se conservan más tiempo al reducirles su contenido de agua, Los aztecas y otras civilizaciones antiguas exponían carnes, pescados y semillas a la intemperie en lugares calientes y secos para propiciar su deshidratación solar; este método aún se emplea para la sal de mar, los chiles y otros vegetales. Los incas aprovechaban la gran altitud y las bajas temperaturas de los Andes para liofilizar sus alimentos; los dejaban congelarse por la noche y la radiación solar matutina se encargaba de la sublimación. Otras culturas han utilizado arena caliente, fuego directo y cámaras de humeo; reminiscencias de estos procedimientos son las carnes secas y saladas como la cecina, el *prosciutto* italiano y el jamón serrano.

Para entender la influencia del agua en la estabilidad de los alimentos, tomemos como ejemplo la leche cruda. Este lácteo contiene 12% de sólidos, es decir, 88% de agua que genera una alta *Aa* de 0.94, además de que es rica en nutrimentos y con un pH casi neutro; estas condiciones son ideales para el crecimiento de lactobacilos que la fermentan en pocas horas si no se pasteuriza o ultrapasteuriza para conservarla por días o hasta por seis meses, respectivamente. Una mayor vida útil es posible al eliminar parte del agua, lo que ocasiona su concentración y la reducción de la *Aa*, como ocurre con la leche evaporada con 26% de sólidos y una *Aa* de 0.85; la combinación de la baja actividad del agua y del efecto de una mayor presión osmótica por el aumento de sólidos, inhibe y destruye microorganismos y hace que este producto se conserve por varios años.

Con más vida de anaquel se encuentra la leche condensada azucarada, cuyos sólidos llegan a 72% y una *Aa* menor de 0.8. Finalmente, la leche deshidratada sólo contiene de 3 a 5% de agua y una *Aa* menor a 0.6; su estabilidad microbiana y enzimática es total y únicamente se ve afectada por reacciones químicas como las de la rancidez oxidativa, catalizadas por las radiaciones del UV y el oxígeno del aire.

Con el jitomate ocurre algo semejante; fresco contiene 94 a 95% de agua y es muy propenso a la actividad de sus enzimas endógenas y al crecimiento fúngico que lo deterioran, aun en refrigeración; en el puré, el agua se reduce a 90%, mientras que en la pasta y el polvo a 78 y 4%, respectivamente. Deshidratado, el jitomate sólo es sensible al oxígeno y al UV.

La reducción del contenido de agua se hace principalmente por evaporación, principio físico con el que se obtiene la concentración y la deshidratación de los alimentos; sin embargo, el agua también se elimina mediante la sublimación, como ocurre en la liofilización. Otros métodos de concentración de sólidos son los de ósmosis y la dehidrocongelación.

Concentración

La evaporación, base de la concentración y la deshidratación de los alimentos, implica una transferencia de energía que propicia el paso del agua líquida al estado gaseoso y que es representada por el cruce de izquierda a derecha de la curva II de la figura 1.2. Como se indicó, el agua se convierte en vapor a 100 °C a nivel del mar (760 mm Hg presión), mientras que a 92.8 °C en la Ciudad de México (585 mm Hg de presión), sin embargo, estas temperaturas se abaten si la concentración se lleva a cabo a una presión inferior.

Los procesos de concentración casero e industrial son muy diferentes. En la cocina se acude al calentamiento en un recipiente abierto para concentrar el jitomate, una salsa o el *gravie;* se requiere una gran cantidad de energía para volatilizar el agua, que también tiene un efecto negativo en las proteínas, carbohidratos y lípidos; además, esta alta temperatura también propicia la destrucción de vitaminas, el oscurecimiento no enzimático, la pérdida de aromas y la generación de sabores amargos, referidos muchas veces como a *cocido* en el que se involucra aminoácidos azufrados. Por su parte, en la industria se emplean evaporadores que trabajan a una presión menor que la atmosférica, y en consecuencia a menor temperatura; en estas condiciones no ocurren tan intensamente los cambios antes mencionados y el producto resultante tiene mejores propiedades sensoriales y nutrimentales.

Para comparar ambos sistemas, considérese la elaboración de mermeladas. En el hogar se parte de frutas frescas troceadas, sobre todo de las que tienen pectinas gelificantes como manzanas, cáscaras de cítricos y tejocotes, ya que en la fresa y la piña no están presentes. Las frutas, añadidas de azúcar y jugo de limón (ácido cítrico), se calientan a ebullición hasta por horas para concentrar los sólidos y así se envasan.

En la gran industria se parte de frutas congeladas, se les añaden pectinas comerciales, azúcar o jarabe de fructosa y ácido cítrico; se cierra el evaporador y las bombas de vacío reducen la presión a 460-480 mm Hg para vaporizar el agua a 65 °C hasta alcanzar una

concentración de 55 a 65 °Brix en un corto tiempo; en estas condiciones se destruyen microbios y enzimas, pero no se propicia tan intensamente la reacción de Maillard y el oscurecimiento del producto, y tampoco se pierden los sabores naturales de las frutas. La gelificación de las pectinas es la base de las mermeladas y por eso el azúcar y el ácido se deben añadir en las proporciones correctas; en exceso, la sacarosa cristaliza y causa mal aspecto, pero si son insuficientes las pectinas no gelifican. Por otra parte, para elaborar las mermeladas *light se* requiere un edulcorante sintético y de pectinas de bajo metoxilo que gelifican con calcio y sin azúcar.

Una vez alcanzada en el evaporador la concentración requerida en grados Brix, los envases de vidrio o de plástico se llenan con la mermelada caliente, prácticamente estéril en ese momento; el enfriamiento posterior del envase produce la condensación interna del vapor de agua y con ello un ligero vacío que hace cóncava su tapa. Sin embargo, una vez abierto puede contaminarse con hongos, como lo hacen otros alimentos de humedad intermedia, razón por la que se le añade benzoato de sodio en 100 ppm.

El proceso de concentración se emplea para fabricar los purés y pastas de jitomate, así como la leche evaporada y la azucarada; también para el suero de leche y de algunas materias primas y de alimentos como paso previo a su deshidratación por aspersión.

Deshidratación

A diferencia de la concentración que produce líquidos muy viscosos, la deshidratación implica una mayor reducción del agua a 3 a 6% mediante la evaporación o la sublimación; nunca se llega a 0% ya que esto significaría eliminar el agua que está muy ligada al sólido, para lo cual se requiere aplicar tanta energía que daña y quema el producto. La conversión de leche fresca con 12% de sólidos en leche en polvo con 95% significa una concentración de 7.3 veces, mucho mayor que la requerida para la leche evaporada.

La baja *Aa* es responsable de la larga vida útil de los deshidratados que se pueden almacenar y transportar más fácilmente y siempre estar disponibles; no hay crecimiento microbiano y sólo están expuestos a reacciones químicas catalizadas por el oxígeno del aire y la luz, sobre todo la UV.

La deshidratación por evaporación se lleva a cabo con el uso de corrientes de aire caliente, o bien por contacto del alimento húmedo con una superficie también caliente. Las proteínas y los polisacáridos son los responsables de la hidratación de los vegetales y de las carnes frescas; al someterse a una temperatura elevada, el agua se vaporiza y esta expulsión violenta ocasiona daños en los tejidos que se reflejan en su encogimiento y endurecimiento. Estos cambios son responsables de la pobre rehidratación del producto seco, ya que los grupos hidrófilos de las proteínas y los polisacáridos pierden su capacidad de retención de agua. Dichos grupos hidrófilos se conservan más con la liofilización y por eso los productos deshidratados por sublimación se hidratan más fácilmente.

El secado más sencillo por evaporación consiste en colocar el alimento fresco, como vegetales, en charolas perforadas que espaciadamente se ubican en cámaras con circulación

de aire caliente proveniente de un calentador acoplado a un ventilador. Una variación son los túneles donde por un extremo entra el alimento fresco y por el otro sale deshidratado, como ocurre con la fabricación de pastas y espaguetis. En cualquier caso, la transferencia de energía y la evaporación se facilita con la reducción del tamaño del producto y con las temperaturas elevadas, aun cuando se corre el riesgo de que el exterior se deshidrate rápidamente, forme una costra y no permita la salida del agua interior.

Para obtener polvos solubles como café, leche y suero de leche, se emplea el secado por aspersión (*spray-drying*) que consiste en un cilindro de acero inoxidable de varios metros de altura y de 2 a 5 m de diámetro, en cuyo extremo superior se encuentra un aspersor que distribuye microgotas del líquido a secar. Al caer, las microgotas chocan contra una corriente ascendente de aire caliente del fondo del equipo; debido a su pequeño tamaño y a la alta temperatura y abundancia de aire, el agua de la gota se evapora inmediatamente y la partícula sólida cae a la base. Para mejorar la eficiencia del proceso se recomienda partir de líquidos concentrados, como leche evaporada, en lugar de leche fresca con mayor cantidad de agua.

El secado por aspersión también se utiliza para la microencapsulación de sabores, vitaminas, colorantes, ácidos y otros aditivos alimentarios; estos compuestos se mezclan con proteínas y polisacáridos, y al secarse se producen microcápsulas cuyo colapso en la boca provoca pequeñas explosiones que liberan el agente activo.

Liofilización

La deshidratación tradicional es por evaporación, mientras que la liofilización es por sublimación, proceso que se representa en la figura 1.2 por la ruta *g-j*; suponiendo que el alimento a liofilizar está en la Ciudad de México, es decir a 585 mm Hg y a 25 °C (*g* en la gráfica), se congela a –20 °C (*h*), se hace un vacío por debajo del punto triple (*i*), y por último se calienta ligeramente para convertir el hielo en gas sin pasar por líquido.

Como no se emplean altas temperaturas, no se afectan las vitaminas termosensibles, además de que las proteínas y los carbohidratos conservan intactos sus grupos hidrófilos y su capacidad de hidratación; la porosidad se mantiene igual que la capilaridad del tejido vegetal o animal, y con ello se asegura un producto muy rehidratable. Debido a su alto costo se emplea en productos caros como café, carne de pollo, algunos vegetales, probióticos y bacterias industriales, lo mismo que en sustancias termosensibles como inmunoglobulinas y antibióticos. La liofilización se utiliza en la gastronomía molecular para lograr estructuras poco convencionales como las espumas de vegetales y hasta las frutas enteras con alta porosidad y crujientes.

Sin importar el método de obtención, los alimentos deshidratados deben almacenarse en sitios frescos y secos, ya que son higroscópicos y se hidratan con la humedad del medio ambiente, sobre todo con la de ciudades costeras; para evitar su apelmazamiento se les añaden antiaglomerantes y en otros casos se envasan junto con pequeñas bolsas con dióxido de silicio que absorbe la humedad, como se observa en las cajas de galletas y en los fármacos.

Alimentos de humedad intermedia

Estos productos, también conocidos como IMF (*Intermediate Moisture Foods*), tienen suficiente agua, 50%, para percibirse como frescos y no necesitar rehidratación, pero así mismo esta humedad no es suficiente para promover el crecimiento de patógenos ya que se genera una *Aa* inferior a 0.86 (figura 4.2). Sin embargo, incluso en estas condiciones pueden crecer hongos, razón por la que se les añade benzoato de sodio como conservador.

Con base en lo anterior, son adecuados para las poblaciones marginadas sin servicios de refrigeración y se fabrican en tres rutas: *a)* por concentración o evaporación tradicional de alimentos frescos con mucha agua, como las mermeladas y la leche evaporada; *b)* por el mezclado de materias primas con poca agua, como en algunos embutidos y los rellenos de frutas para las barras de cereales; su humectación se promueve con la adición de azúcar, glucosa, polioles como sorbitol y glicerol y jarabes de glucosa y fructosa, y *c)* por la deshidratación osmótica, como ocurre con las frutas cristalizadas o confitadas, cuya elaboración es a base de baños con diferentes concentraciones de azúcar y contra las cuales pierden agua paulatinamente.

Ahumado

Este sistema era conocido por los aztecas y los egipcios, e implica la quema de maderas duras de poca resina como el nogal o el abedul, en una cámara cerrada para generar el humo que se adhiere al jamón, chorizo, chuletas, salami y quesos. En México y de forma más rústica, los chilpotles o chipotles (en náhuatl significa "chile ahumado") se producen con el ahumado de los chiles jalapeños. El efecto conservador de este proceso se basa en la acción del humo, pero también en la alta temperatura y la sal añadida a los productos.

El humo es un aerosol o sólido disperso en un gas, de composición muy compleja con cientos de sustancias que cumplen diferentes funciones: unas proporcionan sabor, otras como el ácido acético y el formaldehído reducen el pH e inhiben los microbios, y algunas más a base de fenoles son antioxidantes que evitan el deterioro de las grasas. En la cámara se alcanza hasta 75 °C y se destruyen los patógenos y las enzimas endógenas, se deshidrata la superficie, se produce una costra protectora contra el oxígeno y se generan pigmentos y sabores por la reacción de Maillard. Por su parte, la sal también deshidrata la superficie e inhibe el crecimiento microbiano, además de que contribuye al sabor.

En el humo se ha identificado el benzopireno, agente cancerígeno presente también en las frituras y en el humo del cigarro; sin embargo, los ahumadores modernos tienen filtros y controles de temperatura y de aire que reducen su formación. En la actualidad muchos productos ahumados se fabrican con la sola adición de humos líquidos comerciales que sólo contienen las sustancias aromáticas y el color.

Reducción de oxígeno

El oxígeno del aire tiene una gran influencia en la estabilidad y conservación de los alimentos y se refleja de distintas formas:

a) En la respiración de los vegetales frescos, sobre todo de las frutas, que induce a su maduración.
b) En el crecimiento de microorganismos aerobios, patógenos y no patógenos.
c) En las reacciones del oscurecimiento enzimático, como las del aguacate y la manzana.
d) En la rancidez oxidativa y la oxidación de sustancias insaturadas que incluye ácidos grasos indispensables de aceites, de la vitamina C de los jugos de frutas, de la vitamina E de las oleaginosas y nueces, de los carotenoides de los vegetales y de las sustancias responsables del aroma del café.
e) En la formación de pigmentos derivados de la mioglobina en las carnes frescas.

Una vez envasado el alimento en una bolsa, botella, lata, etc., el oxígeno contenido puede actuar y realizar algunas de las transformaciones anteriores; el origen de este oxígeno es diverso y proviene de varias fuentes: *a)* del espacio de cabeza que existe entre el producto y la tapa o cierre del empaque; *b)* del atrapado en el propio alimento, sobre todo en los vegetales de hoja tipo espinaca, y *c)* de la penetración del aire, lo cual depende de la permeabilidad del empaque.

Con base en lo anterior, y para evitar la acción de este gas, se utilizan diversos mecanismos:

a) Empaques al vacío y semipermeables (vea en este capítulo la sección Envasado en plástico).
b) Almacenamiento en cámaras de atmósferas controladas.
c) Aplicación de otros gases.

Las cámaras de atmósferas controladas son herméticas y se les adiciona CO_2 para reducir proporcionalmente el oxígeno; en estas condiciones, el metabolismo de los vegetales se reduce, respiran menos, se retrasa su maduración y pueden ser transportados largas distancias. Sin embargo, como se indicó antes, en una total ausencia de oxígeno, las frutas y verduras siguen rutas bioquímicas anaeróbicas cuyos metabolitos son muy tóxicos y deterioran el vegetal. Es de fundamental importancia mantener la relación óptima de O_2/CO_2 para cada producto.

En el caso de las carnes frescas, el CO_2 añadido se convierte en ácido carbónico (H_2CO_3) con el agua, baja el pH e inhibe los microorganismos; una mezcla de 75% de O_2 y 25% de CO_2 da buenos resultados, especialmente si se acompaña de refrigeración a 4 o 5 °C, lo que permite el almacenamiento por varias semanas. Cuando la cantidad de CO_2 se incrementa, se induce la formación de la metamioglobina café y en condiciones muy anaeróbicas se propicia el crecimiento del peligroso *Clostridium botulinum*.

Para desplazar al oxígeno se puede añadir nitrógeno, sea en forma líquida y que al contacto con el alimento se gasifica, o bien en forma de gas; se emplea en los empaques de cacahuates, nueces, papas fritas y otras botanas para prevenir la rancidez. También se mezcla con la mayonesa y los aderezos para conferirles estabilidad a la oxidación.

Radiaciones

La radiación es la emisión y propagación de energía a través del espacio o en un medio material y que viaja a la velocidad de la luz, 300 000 km/seg; éste es el caso de los rayos solares que toman ocho minutos en recorrer 145 millones de kilómetros para llegar a la Tierra.

Se clasifican conforme a su longitud de onda. Así, las de onda larga son de baja energía, sólo mueven los electrones libres de los metales e incluyen la luz, radio, TV, telefonía celular y microondas; por su parte, las de onda corta son de mayor energía y penetración, alteran los electrones, algunas ionizan las moléculas y abarca los rayos UV, X y gama (γ). Como regla general, entre menor sea la longitud de onda, mayor será la energía (figura 2.1).

Las radiaciones con más aplicación en la tecnología de alimentos, además de la luz, son las microondas y el infrarrojo para calentar, y las UV y rayos gama para destruir microorganismos.

Las lámparas UV comerciales tienen una longitud de onda de 254 nm, son de poca energía y sólo actúan en la superficie de los alimentos. Su poder conservador se basa en su efecto fotoquímico y oxidativo que altera las proteínas, los ácidos nucleicos y las moléculas insaturadas de los microorganismos. Sin embargo, al mismo tiempo esta acción también propicia la rancidez oxidativa de las grasas, como las de los cacahuates o la mayonesa. Se usan para potabilizar el agua y para controlar el crecimiento microbiano externo de las carnes en las cámaras de maduración natural.

Hasta ahora, los rayos X tienen un uso limitado en la conservación de alimentos; sin embargo, se aplican para detectar vidrio en los envases y así evitar la más peligrosa de las contaminaciones físicas (vea en el capítulo 4 la sección Contaminación física).

Microondas

A pesar de que el horno de microondas doméstico se introdujo al mercado en la década de 1950, en la cocina ocupa un lugar tan importante como la estufa o el refrigerador. En la industria se emplea para la pasteurización continua de líquidos y semilíquidos, en lugar del tradicional calentamiento en intercambiadores de calor. Las microondas no son propiamente una energía térmica, sino que el calentamiento es consecuencia de sus interacciones con el alimento.

Todo parte de la generación de las ondas: el magnetrón convierte la energía eléctrica en radiaciones de alta frecuencia de unos 2.5 gigahertz y un cambio de polaridad de 2 500 000 000 (2.5×10^9) ciclos por segundo; cuando el agua se somete a este campo, su dipolo oxígeno-hidrógeno se alinea millones de veces por segundo y las moléculas vibran y chocan entre ellas, provocando el incremento de temperatura. El agua caliente genera corrientes de convección, tanto en el líquido de cocción como dentro del propio alimento, y éstas calientan los sólidos aledaños; a su vez, éstos transmiten su energía al resto del alimento por conducción.

La máxima temperatura que se alcanza es la de ebullición del agua, la cual se logra en la mitad del tiempo requerido en una estufa convencional. El calentamiento del alimento se acelera con el incremento del contenido de agua, con la sal por su alta conductividad térmica y con las grasas por su bajo calor específico.

Las vitaminas no son especialmente sensibles a las microondas y se destruyen por el incremento de la temperatura y por los mismos mecanismos de un calentamiento convencional.

Las microondas tienen las siguientes limitaciones en su aplicación:

a) Al ser de baja energía sólo penetran 2 a 3 cm en el alimento.
b) En piezas grandes el calor no alcanza el centro donde los organismos patógenos pueden desarrollarse.
c) El calentamiento no es homogéneo en productos viscosos, con formas irregulares y con una distribución heterogénea del agua que crea puntos fríos y calientes.
d) No se puede controlar la temperatura como en una estufa.
e) El aire ocluido en productos porosos, como el pan, inhibe la transmisión de calor ya que por su baja conductividad térmica es un buen aislante.
f) Los utensilios metálicos cerca de la pared del horno inducen arcos eléctricos y chispas que dañan el magnetrón.

Los alimentos congelados son dieléctricos (aislantes) debido a la inmovilidad de sus moléculas de agua, razón por la que no se ven tan afectados por las microondas; esto se comprueba al calentar un trozo de hielo al que se le hace una perforación y se llena con agua que hervirá mientras que el hielo permanece inalterado por algunos segundos hasta que el agua caliente lo funde.

Rayos gama (γ)

A diferencia de los UV, X y microondas, estos rayos son electrones de muy alta energía y penetración provenientes del cobalto 60 y el cesio 137, ambos elementos químicos radiactivos. Son ionizantes, rompen átomos y alteran las proteínas y el ADN de los microorganismos, incluyendo los patógenos, pero no afectan sus toxinas preformadas. Se aplican a bajas dosis, menos de 10 kGy (kilo Grays) en frutas, verduras, granos, pescados, mariscos,

pollos y harinas; eliminan huevos, larvas y pupas de insectos e inhiben los brotes de tubérculos y bulbos. Sin embargo, destruyen algunas vitaminas y pigmentos y generan olores indeseables en ciertos alimentos; la mioglobina de la carne puede perder el color y adquirir uno verde y varias frutas modifican su textura y sabor.

Como los alimentos no incrementan su temperatura, a este tratamiento se le llama esterilización en frío y es muy utilizado para productos termosensibles como condimentos y especias que no pueden calentarse porque pierden sus aromáticos.

Aunque se ha comprobado que la baja dosis aplicada no es suficiente para conferir radiactividad al alimento, y en consecuencia no queda residuo de radiación, su empleo se ha relacionado con la aparición de la 2-alquilciclobutanona (2-ACB) en productos con grasa y a la que se le atribuye la formación de tumores cancerígenos. Existe mucha controversia sobre el uso de las radiaciones; mientras que en Estados Unidos es común, en Europa se limita a especias y condimentos con poca grasa que son consumidos en baja cantidad. En México existen centros de irradiación comercial, pero no hay una regulación sobre su aplicación en alimentos.

Salado/azucarado

El salado o salazón y el azucarado son técnicas de conservación ancestrales de muchas civilizaciones, que eran muy utilizadas para los largos viajes marinos. Sin embargo, actualmente se aplican de manera limitada por los problemas de salud que ocasiona el consumo excesivo de sodio y azúcares.

En ambos casos, el incremento de la presión osmótica y la reducción de la *Aa* son los principios tecnológicos responsables de la destrucción de microorganismos. En general, los microbios contienen 80% o más de humedad y al exponerlos a una salmuera o un jarabe concentrados con menos agua, se establece un diferencial de concentraciones que tiende al equilibrio; los microorganismos transfieren su agua a la salmuera o al jarabe, se deshidratan y mueren mediante la plasmólisis, fenómeno más notorio en bacterias que en levaduras y hongos; para controlar estos últimos se utiliza benzoato de sodio en 100 ppm. Por su menor peso molecular, por gramo, la sal es más efectiva que el azúcar.

El salado se aplica solo o combinado con el ahumado y la deshidratación para producir cecina, jamón serrano, arenque, bacalao, anchoas y aceitunas; la sal sólo penetra de 3 a 5 mm, suficiente para provocar una deshidratación superficial y la destrucción de la flora microbiana.

Este mismo principio se aplica en mermeladas y frutas cristalizadas, glaseadas o confitadas. Para estas últimas, el higo o calabaza se remojan en agua con cal por varias horas para fortalecer los tejidos con el calcio; después se lavan para eliminar el exceso de cal y puede seguir un escaldado que elimina enzimas y microorganismos. Las frutas se pican con alfileres para favorecer la penetración del almíbar de baja concentración y diariamente se incrementa la cantidad de azúcar durante cinco días hasta que se sella la fruta con el edulcorante; con cada aumento de la concentración de azúcar se provoca la salida del agua del vegetal por efecto de la ósmosis.

Pasteurización hiperbárica

Esta tecnología (HPP, *high pressure pasteurization*) se desarrolló a mediados de la década de 1990 y consiste en someter los jugos, embutidos, verduras y otros alimentos a una alta presión de unos 6 000 kg/cm^2 por pocos minutos en un reactor lleno de agua; esta presión equivaldría a sumergir los alimentos a una profundidad de 5 o más kilómetros en el océano. El agua es el medio transmisor de la presión que actúa en todas direcciones del empaque y causa la muerte de los microorganismos al afectar sus lipoproteínas y otros compuestos de alto peso molecular de la membrana celular; las sustancias más pequeñas, como vitaminas y las del color, sabor y aroma, no se ven alteradas. En estas condiciones, el incremento de temperatura es mínimo; sin embargo, una variación al método implica la aplicación de un moderado calor, no tan intenso como la esterilización, pero que contribuye a la destrucción microbiana. La combinación de esta tecnología con la refrigeración permite conservar alimentos tan sensibles como la pulpa de aguacate y el guacamole por varias semanas sin que sufran alteración alguna.

Fermentaciones

Hasta ahora hemos revisado los principales métodos de conservación físicos y algunos de los químicos, y sólo falta el biológico cuyo fundamento es la fermentación, término que acuñó el científico Louis Pasteur en 1860 y que significa "vida sin aire". La fermentación implica el crecimiento controlado de bacterias, hongos y levaduras específicas, que se facilita al crearles condiciones específicas para su desarrollo en términos de temperatura, pH, *Aa* y disponibilidad de oxígeno y nutrimentos; con este proceso se fabrican antibióticos, encurtidos, enzimas, pan, polisacáridos, prebióticos, probióticos, quesos, ron, salami, salsa de soya, tepache, tequila, vinagre, vinos, vitaminas, yogur, etcétera.

Los microorganismos que se utilizan para fermentar alimentos pueden ser añadidos, o bien provenir de la flora natural del propio alimento o del medio ambiente, como ocurre con algunos quesos, los vinos y la col ácida (*sauerkraut*). El etanol y los ácidos láctico y acético son los principales productos de la fermentación que fungen como agentes conservadores al inhibir los microbios indeseables.

Como fuente de energía, los microorganismos requieren hidratos de carbono fácilmente metabolizables como sacarosa, glucosa, fructosa, lactosa o maltosa y que pueden ser inherentes al alimento, o bien ser añadidos de forma controlada. Un mismo microorganismo sigue diferentes rutas bioquímicas dependiendo de las condiciones de fermentación; por ejemplo, con poca disponibilidad de oxígeno las levaduras convierten los azúcares en etanol y poco CO_2 y que es adecuado para bebidas alcohólicas, mientras que con aireación producen más gas y menos alcohol, principio básico de la panificación (vea en el capítulo 8 la sección Panificación).

El vinagre (del francés *vin aigre*, vino ácido) es el principal representante de la fermentación acética y se fabrica en dos etapas: primero se fermenta la sacarosa de la caña

de azúcar o del jugo de manzana para producir etanol; en una segunda fase el alcohol se oxida y se convierte en ácido acético por la acción de las bacterias *Acetobacter aceti* o *A. pasteurianus*:

El resultado es un producto con 11 a 13% de ácido acético, pero que comercialmente se expende al 5%, suficiente para generar un pH de 2.6; en los dos pasos se sintetizan aromáticos, razón por la que las imitaciones de vinagre a base de ácido acético industrial diluido nunca son comparables.

El vinagre balsámico es original de Italia y tradicionalmente se produce a partir de uvas de la variedad *trebbiano,* que después de ser aplastadas y formar un mosto se fermentan y maduran en una sucesión de barriles de diferentes maderas por al menos 12 años; el resultado es un líquido café espeso con aroma dulce de madera muy cotizado en la gastronomía internacional. Sin embargo, hay muchas imitaciones a base de vinagre normal con color caramelo, que no tienen el perfil sensorial del original.

Por su parte, para la fermentación láctica se requieren los lactobacilos que transforman la lactosa en ácido láctico, y que al reducir el pH funciona como principal agente conservador en quesos, yogures, cremas y embutidos (vea en el capítulo 8 la sección Productos lácteos fermentados). En el comercio existen cepas especializadas para cada tipo de lácteo fermentado, pero también pueden ocurrir en forma natural, como ocurre con los *Lactobacillus plantarum* y *Leuconostoc mesenteroides* que crecen en la col ácida y en pepinillos, cebollas y chile para elaborar los encurtidos; cabe mencionar que algunos de estos vegetales se producen sin esta fermentación y con la sola adición del escabeche a base de vinagre y especias.

Tal como ocurre con los alimentos de baja *Aa,* en los fermentados ácidos sólo crecen hongos que sobre los vegetales producen un micelio o nata blanquizca no tóxica pero desagradable a la vista; para su control se añade benzoato de sodio, pero también se pueden pasteurizar y llenar en caliente o bien, en el hogar renovar su vinagre periódicamente.

Otros métodos

Existen otras tecnologías de conservación que han surgido como respuesta a la tendencia hacia los alimentos con un mínimo tratamiento térmico y sin aditivos; algunas tienen aplicaciones muy específicas, como la filtración a través de membranas con microporos que retienen microorganismos y es casi exclusiva de la cervecería y la industria de jugos, mientras que otras están en vías de desarrollo.

La ozonización implica la aplicación de ozono, gas altamente oxidante que afecta las estructuras insaturadas de las moléculas del microorganismo; se usa en vegetales y

carnes, pero sobre todo en la potabilización del agua (vea en el capítulo 1 la sección Agua potable).

Para el calentamiento óhmico, el alimento debe ser buen conductor de la electricidad, es decir, debe contener agua y de preferencia sal; el nombre deriva del físico alemán J. Ohm que estudió la resistencia eléctrica de los materiales y consiste en circular una corriente alterna que genera calor de forma homogénea y rápida en el interior del producto, contrario a lo que sucede con las microondas que calientan heterogéneamente; los pigmentos, vitaminas y otros nutrimentos se conservan mejor que con la esterilización tradicional.

Los pulsos eléctricos de alto voltaje (PEF, *Pulsed Electric Field*) se aplican por microsegundos a los alimentos conductores de la electricidad; el incremento de temperatura es mínimo, pero causan muchos daños a la membrana celular de los microorganismos. Este tratamiento es equivalente a una pasteurización, y en consecuencia los productos tratados deben refrigerarse.

Otros sistemas incluyen el llamado plasma frío, el uso de dióxido de cloro y la sonicación, que es el aprovechamiento de la energía del ultrasonido y que provoca el movimiento interno de las moléculas; una aplicación podría ser para sustituir la pasteurización de la leche.

Agregar aditivos a los alimentos es algo que con frecuencia causa controversia; algunos consumidores creen que todos son productos químicos, lo que les confiere la connotación de ser artificiales y, por lo tanto dañinos, tratándose especialmente de conservadores y colorantes. En realidad, sin ellos muchos alimentos no estarían disponibles a lo largo del año; otros no tendrían color, sabor o textura atractivos; a algunos les faltarían nutrimentos y otros más no soportarían el transporte de largas distancias; además, en muchos casos la falta de aditivos pondría en riesgo la inocuidad de los alimentos.

7

Aditivos

Por definición, un aditivo es *una sustancia que se añade a los alimentos para proporcionar o intensificar su aroma, color o sabor, para mejorar la estabilidad y su calidad nutricional, o para conservar y mantener la inocuidad; se prohíbe para ocultar defectos de la materia prima y de los procesos, encubrir alteraciones y cualquier otra situación que induzca al engaño.*

Los aditivos más comunes incluyen ingredientes como sal, azúcar, ácido cítrico (jugo de limón), ácido acético (vinagre), ácido láctico (lácteos fermentados), pimienta, especias (entre muchos otros) que se utilizan en la conservación y preparación de alimentos desde hace muchos siglos; en Estados Unidos de América se reconoce este amplio grupo de compuestos mediante el listado GRAS (*Generally Recognized as Safe*), cuyo límite de aplicación es sólo por cuestiones sensoriales.

Agregar aditivos a los alimentos es algo que con frecuencia causa controversia; algunos consumidores creen que todos son productos químicos, lo que les confiere la connotación de ser artificiales y, por lo tanto dañinos, tratándose especialmente de conservadores y colorantes. En realidad, sin ellos muchos alimentos no estarían disponibles a lo largo del año; otros no tendrían color, sabor o textura atractivos; a algunos les faltarían nutrimentos y otros más no soportarían el transporte de largas distancias; además, en muchos casos la falta de aditivos pondría en riesgo la inocuidad de los alimentos.

Su naturaleza química es muy diversa y pueden clasificarse en tres grupos: *a)* los que provienen de alimentos que se han consumido por siglos y que han mostrado ser inocuos; *b)* los que son sintéticos, pero semejantes a los que están presentes en los alimentos naturales, y *c)* el resto son nuevos y desarrollados totalmente en el laboratorio. Antes de ser aprobados, los del segundo y tercer grupos pasan por ensayos de funcionalidad y toxicidad para definir su aplicación y su máxima concentración.

La legislación mexicana se apoya en la Comisión del Codex Alimentarius, organismo de consulta creado en 1963 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), que establece la Ingesta Diaria Aceptable (IDA) o cantidad de aditivos que el hombre puede consumir sin causar daños a la salud y referida a 1 kg de masa corporal. Según esta normatividad, los aditivos no son tóxicos, excepto para las personas sensibles y propensas a ciertas alergias. Sin embargo, muchos fabricantes abusan y ponen a sus productos más aditivo del autorizado, lo que equivale a una adulteración o contaminación intencional (vea en el capítulo 4 la sección Contaminación intencional o adulteración).

Tanto en México como en Estados Unidos, los aditivos se mencionan por su nombre en las etiquetas de los alimentos; en Europa se incluye un código numérico al que se antepone la letra "E"; así, el E121 corresponde al benzoato de sodio.

Los más de 3 000 aditivos permitidos en México cumplen alguna de las siguientes funciones:

a) *Incrementan el valor nutritivo:* vitaminas, aminoácidos, minerales, pre y probióticos, sustitutos de grasa.
b) *Conservan la frescura:* acidulantes, conservadores, antioxidantes, agentes que reducen la *Aa*, antiaglomerantes, secuestrantes.
c) *Mejoran las propiedades sensoriales:* potenciadores del sabor, sal, azúcar, saborizantes, jarabes de glucosa y fructosa, polioles, colorantes, edulcorantes, espesantes, espumantes, gelificantes, emulsionantes.
d) *Ayudan en la producción y procesamiento:* enzimas, almidones, polvos para hornear y acondicionadores de panificación.

Estos aditivos se comercializan y se aplican como polvos, soluciones, dispersiones, emulsiones, pastas, microencapsulados y hasta nanoencapsulados. A continuación se hace una breve descripción de los más relevantes.

Acidulantes

Los ácidos acético, adípico, ascórbico, benzoico, cítrico, eritórbico, fumárico, láctico, málico, propiónico, succínico y tartárico se encuentran

en forma natural en muchos vegetales y en productos fermentados. En forma sintética se añaden por muchas razones, entre las que destacan las siguientes:

a) Reducir el pH a menos de 4.6 para que los alimentos se ubiquen en la categoría de ácidos y así esterilizarlos de manera más benévola.
b) Controlar el crecimiento microbiano y el oscurecimiento enzimático.
c) Conferir sabor.
d) Secuestrar los metales catalizadores de la rancidez oxidativa.
e) Acelerar el curado de carnes.
f) Gelificar las pectinas de alto metoxilo.
g) Coagular la leche.
h) Estabilizar las antocianinas.

Estos acidulantes tienen en su molécula por lo menos un grupo carboxilo (—COOH), pero sin tenerlo otras sustancias actúan como ácidos débiles; es el caso de algunos fosfatos y tartratos, así como la glucona-δ-lactona.

El tartrato ácido de potasio, también llamado bitartrato de potasio o crémor tártaro, se encuentra como sedimento en los barriles de fermentación del vino y tiene aplicaciones específicas: estabiliza las espumas de la clara de huevo al desnaturalizar las globulinas y evita la cristalización de la sacarosa en la pastelería.

Acondicionadores de la panificación

Los panaderos de la antigua Roma almacenaban la harina por varios meses para blanquearla y mejorar sus propiedades panificadoras; tuvieron que pasar muchos siglos para entender que el oxígeno provoca la oxidación de las proteínas y de los carotenoides amarillos, lo que resultó en una masa más consistente y blanca. Estos cambios naturales toman mucho tiempo, pero se aceleran en la industria harinera con el uso de los acondicionadores, lo que incluye los mejoradores o mejorantes y los blanqueadores.

Los primeros son agentes que oxidan los grupos sulfhidrilo (—SH) de la cisteína del gluten para formar enlaces disulfuro (—S—S—) entre moléculas de proteína, con lo que se fortalece la tenacidad, rigidez y elasticidad de la masa (vea en el capítulo 8 la sección Panificación); destaca el persulfato de amonio, bromato de potasio, yodato de potasio, azodicarbonamida y el ácido ascórbico. Este último se emplea para fabricar las *baguettes* y otros panes, ya que aumenta el volumen y proporciona una miga más blanca y uniforme.

Por su parte, los blanqueadores oxidan y destruyen los carotenoides amarillos y hacen más blanca la harina; destacan el peróxido de benzoílo, el gas cloro y los dióxidos de nitrógeno y de cloro. Algunos de estos compuestos cumplen ambas funciones. La harina cruda de soya contiene activa su lipoxigenasa que actúa sobre los carotenoides, por lo que la blanquea una vez mezclada con la de trigo.

Otros acondicionadores de la panificación incluyen aditivos para las levaduras y los emulsificantes; los primeros, como los cloruros, sulfatos y fosfatos de calcio y de amonio,

aceleran el crecimiento microbiano y reducen el tiempo de fermentación; los segundos se emplean para retrasar la retrogradación del almidón y con ello el endurecimiento del pan, como lo hace el estearoil-lactilato de sodio y diversos monoglicéridos

Antiaglomerantes

Son sustancias como el dióxido de silicio o dióxido de silicón, los silicatos de calcio y aluminio, el silicoaluminato de sodio, el estearato de calcio, el ferrocianuro de potasio (para la sal de mesa), los carbonatos de calcio y de magnesio y algunos fosfatos, que se aplican en una concentración de aproximadamente 2% para evitar la aglomeración de alimentos en polvo. Los sustitutos de crema para café, gelatinas, harinas, huevos, leche y polvos para hornear son higroscópicos, ya que sus grupos hidrófilos, como los hidroxilos (—OH), absorben la humedad del aire para formar grumos desagradables a la vista y difíciles de disolver, pero no pierden inocuidad ni valor nutricional. Debido a que los antiaglomerantes son insolubles en agua, las soluciones de los productos en los que se aplican pueden resultar algo turbias. También se usan en forma de pequeñas bolsas que se colocan en los empaques de productos como galletas y muchos fármacos.

Antioxidantes

Estos compuestos previenen la oxidación de moléculas insaturadas como los ácidos grasos, los carotenoides y las vitaminas de aceites, chocolates, margarinas, cereales y nueces. Tienen la peculiaridad de que reaccionan más rápidamente con los radicales libres que las moléculas insaturadas y ceden electrones a los radicales libres sin que ellos se conviertan en radical libre. Deben adicionarse antes de que se inicie la oxidación, de lo contrario no actúan en el producto oxidado.

Existen varias sustancias con poder antioxidante; entre las naturales se encuentran los tocoferoles o vitamina E, la vitamina C y los carotenoides, pero que se sintetizan para emplearse como aditivos; por su elevado contenido de polifenoles antioxidantes, los extractos de romero y de salvia también se usan en diversos alimentos.

Por su parte, los sintéticos incluyen la terbutilhidroxiquinona (TBHQ), el butilhidroxianisol (BHA), el butilhidroxitolueno (BHT), el galato de propilo y el palmitato de ascorbilo, que también se añaden a las materias primas para la fabricación de plásticos y así proteger los envases contra su oxidación. Se emplean en 200 ppm o 0.02% en forma combinada para aprovechar su efecto sinérgico; es decir, 100 ppm de dos de ellos es más efectiva que 200 ppm de uno solo. Su acción también se potencia al mezclarlos con ácido cítrico o ácido fosfórico, ya que éstos actúan como secuestrantes de los metales que aceleran la oxidación. Su actividad no se transfiere al organismo humano y no tienen relación con los antioxidantes fitoquímicos.

Colorantes

Estos compuestos confieren, acentúan o modifican el color de cereales, bebidas embotelladas, postres, sopas, yogures, quesos, cárnicos y muchos otros alimentos; también contrarrestan la variación natural de color de los vegetales y sus derivados. Los más de 50 colorantes aceptados en la legislación mexicana son de origen natural o sintético y todos se comercializan en forma de líquidos o polvos hidrosolubles o liposolubles, pero también como lacas que se fabrican por absorción del agente activo en una base insoluble de alúmina (hidróxido de aluminio) y que se utilizan en productos secos o ricos en grasa, tipo relleno de galletas.

Los colorantes naturales se dividen en tres categorías:

1. De origen vegetal, como la clorofila, los carotenoides, las antocianinas y las betalainas.
2. De origen animal, como la cochinilla.
3. De origen mineral, principalmente el dióxido de titanio de color blanco.

Los deshidratados de la espinaca permiten la pigmentación verde; los rizomas de la cúrcuma contienen curcumina, compuesto fenólico amarillo/anaranjado insoluble en agua, de sabor amargo y picante usado para la mostaza; por otra parte el betabel deshidratado, el hollejo de uva (enocianina), la flor de cempasúchil, la páprika, el achiote y el azafrán también son muy utilizados. Cabe indicar que los pigmentos naturales se modifican y cambian de color bajo diversas condiciones; las clorofilas pierden su coloración en ácidos; las antocianinas se alteran a pH mayor que 4.2 y se oscurecen con las altas temperaturas; el achiote precipita a pH mayor que 4 y se vuelve rosado en presencia del calcio de las aguas duras, y los carotenoides son sensibles a la luz solar y al oxígeno del aire y reducen su intensidad con iones de hierro y magnesio.

Entre los pigmentos naturales más peculiares está el carmín, que se obtiene de las hembras de la cochinilla (*Dactylous coccus,* Costa), insecto que prolifera como plaga en ciertos cactus y que lo produce como defensa contra depredadores por su desagradable sabor; el término cochinilla proviene del latín *ceccinos* que significa "escarlata" o "grana". El carmín, cuyo agente activo es el ácido carmínico, es originario de México y los aztecas lo llamaban *nocheztli* o sangre de nopal y se requiere de aproximadamente 130 000 insectos para producir 1 kg del pigmento; se emplea en diversos alimentos, y profusamente en rubores y lápices labiales.

El dióxido de titanio, también llamado blanco de titanio, es un mineral con diferentes granulometrías de color blanco que se utiliza hasta al 1 % para pigmentar algunos alimentos, por ejemplo los de la confitería; cabe aclarar que este compuesto no tiene ninguna relación con el color blanco de la leche.

Otros pigmentos incluyen la riboflavina de color verde, el β-caroteno (sintético pero idéntico al natural) anaranjado, el gluconato ferroso de color gris amarillento y los caramelos amarillo-café oscuro.

Estos últimos se fabrican con la caramelización (vea en el capítulo 1 la sección Caramelización) de la sacarosa o de los jarabes de glucosa y de fructosa que se someten a muy alta temperatura junto con distintos compuestos para generar cuatro caramelos industriales:

- *Tipo I* Elaborado únicamente con el calentamiento de los azúcares o en presencia de hidróxido de sodio o sosa, NaOH.
- *Tipo II* Que implica el uso de ácido sulfhídrico, H_2S (el mismo que produce la leche y el huevo en su calentamiento y que es responsable de su sabor cocido).
- *Tipo III* Con amoniaco, NH_3, o sus sales.
- *Tipo IV* Con la adición de sulfitos y amoniaco.

Con esta gama de productos se cubren todas las necesidades en términos de poder tintóreo y sabor. Sin embargo, los que llevan amoniaco, sobre todo el III, ha sido cuestionado por la presencia de un derivado del imidazol que afecta el sistema inmune y también por causar deficiencias de vitamina B_6. La OMS y la FAO recomiendan un consumo máximo de 200 mg/kg de masa corporal para los tipos III y IV. Su uso es muy variado, pero está presente de forma importante en los refrescos (bebidas gaseosas) de cola, en los que además contribuye con un ligero incremento de viscosidad.

Por otra parte, los colorantes sintéticos tienen mayor poder de tinción que los naturales y se pueden dividir en hidrosolubles, adecuados para alimentos con agua y en lacas para productos secos y con grasa. Su grupo cromóforo, responsable del color, tiene diferentes orígenes químicos y puede ser azóico, trifenilmetano, etc. Entre los principales se encuentra la tartracina (tartrazina o amarillo 5), el amarillo sunset o amarillo 6, el rojo punzo, el rojo 40, la carmoisina, la eritrosina, el azul brillante y el azul indigotina; por combinación de estos primarios se fabrica una amplia gama de colores secundarios. Para identificarlos, en Estados Unidos se emplean las siglas FD&C (*Food, Drug and Cosmetic*) que preceden al nombre, y en Europa se antepone la letra "E". No hay una regulación internacional y, por ejemplo, el rojo 40 se utiliza ampliamente en Estados Unidos pero se prohíbe en Europa.

Los colorantes sintéticos son muy reactivos y cambian de color con el pH, luz, altas temperaturas y agentes reductores como el dióxido de azufre; por ejemplo, la tartracina es amarilla en ácidos, pero se torna roja al incrementar el pH por la adición de polvos para hornear; el hierro y el cobre de los utensilios de cocina modifican la tonalidad de algunos, como la eritrosina que vira de rojo a café. A la tartracina se le ha relacionado con problemas de alergia, migraña, asma e hiperactividad en niños.

Conservadores

Para su protección natural, muchos productos contienen agentes antimicrobianos, como ocurre con el ácido benzoico de las frutas, la lisozima del huevo, el eugenol del clavo y el aldehído cinámico de la canela (estos dos últimos también son responsables de sus respectivos aromas). Existen otros que también se encuentran en la naturaleza y se sintetizan para emplearse contra las dañinas bacterias, hongos y levaduras, y así alargar la vida útil de

los alimentos. Entre los principales conservadores permitidos destacan el ácido benzoico, benzoatos, parabenos, sorbatos, propionatos, dióxido de azufre, sulfitos, ácidos, nitritos y nitratos, antibióticos, pirocarbonato de dietilo y óxido de etileno.

De todos, únicamente los óxidos de etileno y de propileno y algunos antibióticos son bactericidas y fungicidas (destruyen bacterias y hongos), mientras que los demás son bacteriostáticos y fungistáticos (sólo los inhiben). Cada uno es efectivo contra un determinado tipo de microorganismo en ciertas condiciones de pH y *Aa* y presenta una cierta resistencia térmica; no todos sirven para cualquier aplicación, por ello su selección debe hacerse cuidadosamente.

El ácido benzoico y su sal, el benzoato de sodio, están presentes en la canela, manzanas, arándanos y ciruelas; en forma sintética, el benzoato de sodio se emplea en 100 ppm, o 0.1%, contra levaduras y hongos en productos ácidos como bebidas embotelladas, mermeladas, aderezos, jugos, encurtidos y salsas de jitomate; su IDA es de 5 mg/kg de masa corporal. Los parabenos son compuestos relacionados con los benzoatos y específicos contra la listeria.

Los sorbatos y los propionatos también están presentes de forma natural en muchos alimentos y se usan para inhibir hongos en productos de la panificación, en quesos y jarabes; por su estructura química, el hombre los metaboliza como cualquier ácido graso.

Son conservadores el dióxido de azufre (SO_2), los sulfitos, bisulfitos y metabisulfitos, pero por ser potentes reductores actúan como antioxidantes e inhibidores del oscurecimiento enzimático en vinos y frutas secas en concentración de 20 ppm. Su uso se remonta a los antiguos romanos, que desinfectaban sus bodegas quemando piedras de azufre. Su aplicación tiene algunos inconvenientes: dado que son reductores, destruyen la tiamina y cambian el color a algunas antocianinas de las frutas y a los colorantes sintéticos; su aroma es fuerte y puede alterar el del alimento; con el hierro de la hojalata produce puntos negros de óxido ferroso. Los sulfitos se incluyen en el listado de alergenos de la Norma Oficial Mexicana NOM 051 cuando están en más de 10 ppm, ya que a los asmáticos les causa dolor de cabeza, mareo y problemas de respiración, sólo algunos minutos después de haberlos consumido.

Los conservadores ácidos más comunes son el cítrico, acético y láctico, que están presentes de forma natural en cítricos, vinagre y lácteos fermentados. El jugo de limón, con su bajo pH de 2.3 inhibe los microbios, pero también el oscurecimiento enzimático (aguacates) y la rancidez oxidativa al secuestrar los metales que la propician.

Una solución al 0.1% de ácido acético, por ejemplo 5 mL de vinagre en 250 mL de agua (concentración por debajo de la usada en mayonesas y aderezos), es suficiente para inhibir microorganismos. Debido a que hierve a 118 °C, este ácido se concentra al calentar los alimentos y evaporar el agua; por ser un buen disolvente lipofílico, se aromatiza con las sustancias que extrae de las hierbas y especias. Se emplea para marinar por días carnes duras de res y de cerdo, pero también para tejidos más suaves, como pescado y pollo, pero por menos tiempo. A pesar de su bajo pH, los encurtidos y otros productos ricos en vinagre están sujetos al crecimiento de hongos que forman una capa blanca, pero que se inhiben con el benzoato de sodio. Su poder disolvente lo hace muy útil para la limpieza de superficies en la cocina y de vidrios.

Los nitritos y nitratos tienen una función inhibitoria específica contra el *Clostridium botulinum* en cárnicos, pero también contribuyen a su color por la producción de la nitrosomioglobina y a su sabor. Su empleo fue cuestionado por la potencial producción de nitrosaminas, cancerígenos que actúan en el estómago, hígado y esófago y que provienen de la reacción del NO (óxido nitroso) que generan estos aditivos con aminas secundarias durante el curado de los embutidos; en la actualidad, las nitrosaminas no se consideran de riesgo ya que se encuentran en baja concentración (10 μg/kg) en estos alimentos.

Cabe mencionar que espinacas, rábanos, col y apio, entre otros vegetales, absorben y retienen nitratos del suelo y de los fertilizantes hasta en 200 mg/100 g; la microflora bucal e intestinal los convierte en nitritos, y con las aminas del estómago forman nitrosaminas; esta síntesis se inhibe con el consumo de vitamina C.

Los antibióticos son producidos por diversos microorganismos para su protección contra otros microorganismos; tienen acción bacteriostática o bactericida, sobre todo con bacterias grampositivas. En alimentos se emplea la nisina, de estructura proteínica, que actúa sobre *Clostridium* en vinos y quesos; la clorotetraciclina y la oxitetraciclina se aplican en carnes frescas y se destruyen con la cocción, y la pimaricina o natamicina en quesos y otros productos fermentados.

El pirocarbonato de dietilo actúa sobre las levaduras y se emplea en bebidas y vinos. El bióxido de carbono (CO_2) se convierte en ácido carbónico (H_2CO_3) que, al reducir el pH, funge como conservador en bebidas gasificadas y en carnes con atmósfera controlada.

Los óxidos de etileno y propileno son gases bactericidas que se utilizan en cámaras cerradas en la llamada esterilización en frío de especias y de otros ingredientes de baja humedad sensibles a las altas temperaturas; reaccionan con la sal y forman clorhidrinas (Cl—CH_2—CH_2—OH), a las que se les adjudica cierta toxicidad, pero no de gravedad; pueden causar la destrucción de la niacina, riboflavina y piridoxina.

Edulcorantes o endulzantes

Existen muchas sustancias naturales y sintéticas que producen la sensación de dulzor y cuya potencia se mide tomando a la sacarosa como referencia; a este azúcar se le asigna un valor arbitrario de 1, de tal forma que un compuesto de 200 significa que 1 g sustituye a 200 g de sacarosa para alcanzar la misma dulzura.

En los edulcorantes naturales se incluye a los mono y oligosacáridos metabolizables y que aportan calorías, como la sacarosa, fructosa, glucosa, lactosa y maltosa; también abarcan los polioles que más adelante se describen, así como la estevia, las taumatinas y la neohesperidina.

La *estevia* (*Stevia rebaudiana*) es una planta de Sudamérica descubierta por el botánico español Pedro Jaime Esteve, de la que se extrae con agua el rebaudiósido, glucósido 250 veces más dulce que la sacarosa, con nulo Índice Glucémico, estable a pH < 4 y con un ligero resabio amargo.

Las *taumatinas* son proteínas hidrosolubles, 2 000 veces más dulces, se extraen de la parte gelatinosa que cubre el fruto del árbol katemfe (*Thaumatococcus danielli*) y son comercializadas con la marca *Talina;* sus moléculas están estabilizadas por enlaces disulfuro

(—S—S—) que le confieren alta resistencia a la desnaturalización térmica y por eso soportan el horneo; sin embargo son sensibles a pH < 3.5 y pierden su capacidad edulcorante.

La *neohesperidina* proviene de la hidrogenación de un compuesto natural, la naringina amarga y es hasta 1 500 veces más dulce que la sacarosa.

Por su parte, los *edulcorantes sintéticos* generan un mínimo de calorías, de nulo Índice Glucémico, no producen caries y se recomiendan para los enfermos diabéticos y para combatir la obesidad: acesulfame K, aspartame, ciclamatos, sacarina, sucralosa, alitame, isomaltulosa y neotame.

El *acesulfame(o) K* es 200 veces más dulce que la sacarosa, no deja resabio y es estable a temperaturas elevadas; la marca *Sunnett* es la forma comercial más conocida.

El *aspartame(o)* es el dipéptido del ácido aspártico y la fenilalanina comercializado como *NutraSweet* y, tal como las proteínas, produce 4 kcal/g. Tiene una potencia de 200 y su uso se limita a productos ácidos y a los que no se someten a cocción o al horneo, como los refrescos (bebidas gaseosas), pero con el tiempo se hidroliza, pierde su dulzor y produce un sabor desagradable. No lo pueden consumir los fenilcetonúricos debido a su incapacidad genética para metabolizar la fenilalanina en el hígado, lo que provoca su concentración en la sangre. Se le ha relacionado con problemas de salud, desde esclerosis hasta daños cerebrales, pero sin una sólida evidencia científica. Su IDA de 40 mg/kg de masa corporal equivale a consumir 17 latas de refrescos *light* o 60 sobres del edulcorante por día para un adulto.

El *neotamo* y el *alitamo* son derivados de dipéptidos; el primero es muy parecido al aspartame y ambos poseen poder edulcorante muy elevado, de 10 000 y 2 000 respectivamente, y no dejan resabio amargo.

Los *ciclamatos* son 30 veces más dulces que la sacarosa y hasta hace algunos años se les consideraba tóxicos; sin embargo, las nuevas investigaciones han ayudado a que se apruebe su consumo en muchos países.

La *sacarina* se descubrió accidentalmente en 1878; es hasta 400 veces más dulce que la sacarosa, deja un resabio amargo y es el agente activo del *Sweet´n Low;* se clasificó como cancerígena y se prohibió por algún tiempo, pero posteriormente se reivindicó y su uso cuenta con la aprobación en varios países.

La *sucralosa* es un derivado clorado de la sacarosa que no se metaboliza, con un poder de 600, y *Splenda* es la marca comercial más conocida. La *Palatinosa* es la isomaltulosa, con un menor poder edulcorante, que se encuentra de forma natural en la miel de abeja. El *eritritol* es un poliol que también se emplea como edulcorante.

Los empaques individuales de 1 g de la mayoría de los edulcorantes sintéticos contienen 95 a 96% de dextrosa, 3% de maltodextrinas y sólo 1 a 2% del agente activo; esta cantidad es suficiente para producir el dulzor de 5 g de sacarosa, equivalentes a 1 o 2 cucharaditas.

Emulsionantes

También llamados emulsificantes, son moléculas amfifílicas (del griego *amphi*, ambos lados y *philos*, amigo), con una parte hidrófila o soluble en agua y otra hidrófoba, soluble

en aceites. Esta capacidad dual de interacción estabiliza las mezclas de agua y aceite al funcionar como un fuerte enlace entre ambas fases que reduce su tensión superficial; en su ausencia, el aceite de los aderezos se separa del agua y, por diferencia de densidades, migra a la superficie. Los detergentes y los jabones pertenecen a esta categoría y por eso solubilizan las grasas.

La lecitina es el emulsionante natural más conocido, presente en la yema del huevo y por eso se usa en mayonesas, se obtiene como subproducto de la refinación del aceite de soya y se utiliza en chocolates, alimentos infantiles y como antiadherente para sartenes.

Comercialmente se cuenta con una amplia gama de emulsionantes sintéticos, muchos de ellos derivados de los ácidos láctico, esteárico, oleico y palmítico, otros provenientes de mono y diglicéridos y del propilenglicol. En cada uno prevalece la parte hidrófila o la lipófila, lo que los hace ser más solubles en la fase acuosa o la lípida, respectivamente; esta tendencia se refleja en el valor del balance hidrófilo lipófilo (BHL) y con base en este parámetro se determina su uso. Algunos cumplen funciones específicas, como los monoglicéridos que previenen el endurecimiento del pan (vea en el capítulo 8 la sección Deterioro del pan).

Enzimas

De las miles de enzimas conocidas, sólo unas cuantas están disponibles comercialmente y se usan en la elaboración de diversos alimentos y hasta detergentes. Destaca el grupo de las hidrolasas, que incluye amilasas, celulasas, invertasas, lactasas, pectinasas, proteasas y lipasas. La ingeniería genética es la base para su producción industrial, a través de microorganismos como los hongos *Aspergillus oryzae*, las levaduras *Saccharomyces* y las bacterias *Bacillus subtilis* y *B. cereus*. Otras provienen de los vegetales y animales: la papaína del látex de la papaya, la bromelina de la piña y la renina del estómago de rumiantes.

Son muchas sus aplicaciones: las amilasas actúan sobre el almidón y se usan para producir jarabes de glucosa y dextrinas. La lactasa hidroliza la lactosa para la leche deslactosada. Con las pectinasas se logran máximos rendimientos en la obtención y clarificación de jugos, pero también se emplean para mantener la consistencia de los trozos de algunas frutas industrializadas, ya que hidrolizan los metilos, y en presencia de calcio los carboxilos libres de las pectinas forman enlaces que le dan rigidez al tejido vegetal. La glucosa isomerasa transforma la glucosa en fructosa. La papaína y la bromelina se utilizan en los ablandadores para la carne; la quimosina o renina del cuajo para la coagulación de la leche en la elaboración de quesos, y existen sustitutos microbianos de la renina. La sacarasa o invertasa se utiliza para fabricar el azúcar invertido; las fitasas para eliminar el complejo del ácido fítico con Ca, Fe, Zn y Mg, y hacer más biodisponible estos elementos químicos; la glucosa oxidasa para eliminar la glucosa antes de deshidratar el huevo; la transglutaminasa gelifica las proteínas en frío y evita la sinéresis, actúa como pegamento para unir trozos de carne, propiedad que es aprovechada para crear productos tipo surimi, y para elaborar geles termoirreversibles y termoestables a base de soya, leche o grenetina.

Especias

En la Edad Media el empleo de especias estaba muy difundido y de ahí su gran importancia comercial, sobre todo la pimienta que tanto buscaba Cristóbal Colón. Las especies se usaban para enmascarar los sabores y los olores de los alimentos que se descomponían por falta de sistemas de conservación, principalmente en algunas regiones y en épocas calurosas.

Se obtienen de cortezas (canela), raíces (jengibre), botones de flor (clavo), semillas (pimienta) y frutas (cardamomo) y se caracterizan por su alto contenido de aceites volátiles, muy aromáticos, cuya potencia se incrementa con el calentamiento. Además, algunas presentan un efecto antimicrobiano y antioxidante: la vainillina de la vainilla y la carvona de la menta y de la alcaravea actúan contra hongos; el fenilacetaldehído y el mentol de la hierbabuena inhiben el *S. aureus*; la alicina del ajo, el eugenol de los clavos, el aldehído cinámico de la canela y el benzaldehído de la pimienta negra también tienen actividad, lo mismo que los terpenos de la nuez moscada, mejorana, laurel y tomillo; orégano, eneldo y romero son fuertes antioxidantes con altos valores de ORAC (vea en el capítulo 3 la sección Fitoquímicos). Otras más tienen un importante efecto carminativo.

La gama de especias es muy amplia y además de las mencionadas están el ruibarbo, la albahaca, la alcaravea, el comino y el azafrán; este último son los pistilos de una flor, y se requieren 250 000 para obtener 1 kg del producto comercial. La pimienta gorda, o pimienta de Tabasco (*allspice*), es muy aromática y proviene de un árbol nativo de México.

Las pimientas negra y blanca son la misma fruta del pimentero, *Piper nigrum,* originario de Asia; su diferencia depende de la madurez al recolectarlas, del secado y de la presencia de la cáscara. En ambos casos, su sabor y pungencia se deben a la piperina y piperidina, compuestos alcalinos que pueden neutralizarse con los ácidos de los alimentos y reducir sus propiedades sensoriales; por ello las pimientas destacan más en guisos poco ácidos como carne, huevo y pescado.

La mostaza se obtiene de la molienda de las semillas de la crucífera *Brassica alba* (mostaza blanca) y *Brassica nigra* (mostaza negra), cuyo principal agente activo es el isotiocianato de alilo que también está presente en rábanos, coles y nabos; se le adiciona agua, vinagre y sal. La Dijon se produce en la ciudad de ese nombre al este de Francia y su método de preparación la hace ser más fuerte y picante que la tradicional, aun cuando se parte prácticamente de los mismos ingredientes.

A pesar de que las especias se emplean en muy baja cantidad, su cuenta microbiana puede ser muy alta, sobre todo en *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* y en salmonellas, y pueden contaminar los alimentos; por otra parte, debido a su sensibilidad a las altas temperaturas, su esterilización comercial se efectúa con irradiación o con óxido de etileno.

Espesantes y gelificantes

Son polisacáridos y proteínas, también llamados hidrocoloides, cuya principal característica es contar con muchos grupos hidrofílicos, sobre todo hidroxilos (—OH), a través de los cuales se hidratan y retienen mucha agua por puentes de hidrógeno; en estos aditivos se incluye las gomas y otros polímeros que desarrollan propiedades funcionales como de espesante (a baja concentración), de gelificante (a mayor concentración), de emulsionante, de estabilizante y de espumante. Provienen de exudados de plantas, de semillas, de algas marinas, de microorganismos y de otras fuentes, como se muestra en el cuadro 7.1; algunos se usan desde hace siglos, como la goma arábiga o de acacia.

A excepción de las proteínas (clara de huevo y grenetina) y de ciertos almidones metabolizables, los demás son parte de la fibra dietética, es decir, no producen calorías y su Índice Glucémico es nulo. Los almidones modificados no son metabolizables y actúan como fibra.

Al hidratarse y formar soles se incrementa la viscosidad; sea una sopa o una salsa, el líquido se espesa, se estabiliza y puede convertirse en gel. Cada espesante y gelificante desarrolla sus propiedades de acuerdo con su concentración, pH, temperatura y presencia de calcio y otros iones divalentes; además, algunos tienen una funcionalidad específica al interactuar con las proteínas y los hidratos de carbono del alimento, mientras que otros funcionan hasta en bebidas alcohólicas. Esta amplia gama de propiedades hace que estos aditivos sean muy versátiles y que se apliquen de diversas formas.

Muchas de las gomas no son propiamente emulsificantes, pero al aumentar la viscosidad, como lo hace la de algarrobo, mejoran la estabilidad de las emulsiones tipo aderezo; además, esta goma confiere una textura suave a los postres congelados. La alta capacidad de retención de agua de los almidones modificados se aprovecha para conservar la humedad de los alimentos sometidos a ciclos de congelamiento-descongelamiento.

La goma arábiga previene la cristalización de la sacarosa en los postres. La goma xantano o xántica mantiene suspendidas las partículas sólidas (como hierbas y especias) en los aderezos y es un buen espesante, además de que se emplea para fabricar panes sin gluten ya que soporta las temperaturas del horno. La carragenina estabiliza el chocolate en bebidas lácteas, gelifica sin refrigeración, a diferencia de la grenetina y, por su naturaleza vegetal, se usa en postres para vegetarianos; se aplica en leche evaporada, en productos sometidos a ciclos de congelamiento-descongelamiento y en los cárnicos por su retención de agua. Los geles de gelana resisten altas temperaturas y son adecuados en la preparación de alimentos en zonas muy calurosas, en masas de panificación y en yogur. La polidextrosa es un polímero de glucosas con sorbitol y ácido cítrico que se emplea como carga para sustituir el almidón y aporta sólo 1 kcal/g; *Litesse* es la marca comercial más conocida.

Los alginatos gelifican con calcio, lo cual se aprovecha para hacer pequeñas esferas, gotas, falsas yemas y geles con centros de frutas y verduras; los trozos de vegetales se cubren con una solución de alginato y posteriormente se sumergen en un baño con alguna sal de calcio que induce su inmediata gelificación (el más común es el cloruro de calcio, $CaCl_2$). Sus geles no funden y se usan en productos cárnicos.

Al contacto con agua, la grenetina se hidrata externamente y forma grumos, pero se evitan al mezclarla con azúcar o algún otro polvo antes de añadirla al líquido. A baja concentración crea un sol, pero al incrementarla a 2 g/L, aproximadamente, produce un gel termorreversible que funde con el calor, solidifica con el frío y presenta sinéresis. Por ser una proteína, se hidroliza con las proteasas naturales de la papaya, higo y piña frescas; estas frutas deben calentarse para desactivar sus enzimas antes de intentar hacer una gelatina con ellas. La grenetina se comercializa en función de sus grados Bloom, indicación de la dureza del gel formado; la de 225 Bloom es la más común.

El agar forma geles con leche o con agua, fuertes, estables y termorreversibles, pero con una gran diferencia entre la gelificación (30 °C) y la fusión (85 °C). La celulosa se obtiene de la madera y del algodón y sus derivados, como la carboximetilcelulosa (CMC), evitan la precipitación de proteínas aun en su punto isoeléctrico y también conservan la humedad y mejoran la textura de la tortilla; reducen la absorción de grasa en la fritura, retienen gas y humedad de la panificación y actúan como lubricante.

En México, las pectinas comerciales se obtienen de la cáscara del limón, pero en otros países de la manzana; su principal uso es en la elaboración de mermeladas por su capacidad de gelificación, sobre todo para las de fresa y piña que no las contienen de forma natural.

Cuadro 7.1 **Principales agentes espesantes y gelificantes.**

Exudados de plantas	**Otros**
alerce	almidón y derivados
arábiga	celulosa y derivados
karaya	clara de huevo
tragacanto	grenetina
	pectinas
Semillas	polidextrosa
algarrobo	
guar	**Gomas microbianas**
mezquite	dextranas
psilio	xantano
	gelana
Extractos de algas marinas	
agar	
alginato	
carragenina	

Esta clase de aditivos también se emplea para producir microencapsulados de saborizantes y aromas, y en las industrias farmacéutica, de pinturas y de cosméticos, principalmente en geles para el cabello, pastas de dientes y cremas, o en la industria petrolera para facilitar la perforación de pozos.

Jarabes de glucosa y fructosa

Los jarabes de glucosa son resultado de la acción conjunta de varias amilasas microbianas sobre el almidón de maíz; la hidrólisis no es al 100%, y además de glucosa, los jarabes contienen residuos del polisacárido llamados dextrinas. Se emplean para dar consistencia y dulzor a diversos productos como la crema en polvo para café y los jarabes infantiles, pero también son materia prima para producir fructosa, que es más dulce que la glucosa.

La fabricación de los jarabes de fructosa (HFCS, *high fructose corn syrup*) tiene como base la conversión de la glucosa en fructosa por la acción de la enzima glucosa isomerasa microbiana. Comercialmente existen los jarabes con 42% de fructosa (58% glucosa), menos dulce que la sacarosa; y el de 55%, tan dulce como ésta, ambos empleados en bebidas gaseosas, jugos, mermeladas y repostería. Producen 4 kcal/g igual que cualquier otro monosacárido, pero tienen un menor Índice glucémico. Su efecto negativo en la salud es aún muy controversial; se les atribuye la estimulación del hígado para sintetizar triglicéridos, la inhibición del mecanismo de la saciedad que provoca que la gente siga comiendo y la resistencia a la insulina.

Otro jarabe que también se utiliza mucho, sobre todo en la confitería, es el azúcar invertido que proviene de la hidrólisis enzimática de la sacarosa, que genera una mezcla de glucosa y fructosa; el alto dulzor de la miel se debe a su azúcar invertido que naturalmente producen las abejas.

Nutrimentos

La adición de nutrimentos en los alimentos se realiza por cuatro razones que se engloban en el término *nutrificación,* a saber:

- *Reconstitución*: para alcanzar el contenido original del nutrimento que se pierde en el procesamiento de los alimentos. Por ejemplo, en la esterilización de jugos y purés infantiles hechos a base de vegetales se destruye la vitamina C por su gran termosensibilidad; el ácido ascórbico se añade en exceso para que después del calentamiento la cantidad residual sea la que originalmente tenía la materia prima.
- *Estandarización*: para compensar la variación natural de nutrimentos, por ejemplo con los productos elaborados con vegetales cosechados en distintas épocas del año.
- *Enriquecimiento*: para incrementar la cantidad de un determinado nutrimento en un producto, como es la adición de calcio al yogur.
- *Fortificación*: para tener nutrimentos que no se encuentran en el alimento en forma natural, como ocurre con la vitamina A añadida a los jugos de algunos vegetales.

Existe una amplia gama de nutrimentos comerciales, muchos de ellos incluidos en los nutracéuticos (vea en el capítulo 3 la sección Nutracéuticos), entre los que destacan:

a) *Vitaminas*, mononitrato de tiamina, clorhidrato de piridoxina, ascorbato de sodio y palmitato de retinol.
b) *Aminoácidos*, lisina y metionina.
c) *Ácidos grasos* omega 3 y 6 provenientes del pescado o de algas.
d) *Minerales*, calcio, magnesio, hierro y zinc.

Otros compuestos incluyen la *colina* que se añade en forma de cloruro o bitartrato.

Su adición debe hacerse cuidadosamente para lograr el máximo beneficio; debe tomarse en cuenta la estabilidad y la biodisponibilidad del nutrimento en el alimento específico. En exceso, algunos causan intoxicaciones y problemas de antagonismo para su aprovechamiento biológico; la lisina y la metionina pueden provocar que otros aminoácidos no se absorban correctamente y así generar deficiencias. De igual forma, alteran la estabilidad de los alimentos o modifican sus características sensoriales; la vitamina B_1 produce sabores amargos y aromas azufrados que recuerdan el huevo, mientras que el zinc y el cobre presentan un ligero sabor metálico y además aceleran las reacciones de oxidación de grasas, pigmentos y de otras moléculas insaturadas, etc. La adición de hierro requiere un cuidado especial, debido a que el sulfato ferroso tiene buena biodisponibilidad pero afecta el sabor del alimento; el fosfato de hierro no modifica el alimento pero no es muy biodisponible y el óxido de hierro es poco soluble.

La adición de vitamina C, además de su efecto biológico, también cumple funciones como las siguientes: secuestrante para evitar la rancidez oxidativa; agente reductor en las masas de panificación; y para inhibir la formación de nitrosaminas en los embutidos.

Polioles

Son compuestos fabricados por la hidrogenación de distintos azúcares y sólo contienen grupos hidroxilo o alcohol (—OH) en su molécula, como el glicerol o glicerina, propilenglicol, sorbitol (glucitol), xilitol, eritritol, manitol y el lactitol proveniente de la lactosa. Establecen puentes de hidrógeno y retienen agua, propiedad humectante que se aprovecha en alimentos de humedad intermedia, cosméticos y pastas dentales. Tienen un poder edulcorante de 30 a 100 % del de la sacarosa; producen sólo 2 kcal/g y son de bajo Índice glucémico; el lactitol se considera prebiótico. Debido a su fuerte retención de agua, su consumo excesivo tiene un efecto laxante, como se comprueba al masticar chicles sin azúcar pero con polioles, o al consumir ciruelas por su alto contenido de sorbitol. El xilitol tiene un efecto refrescante porque su calor de disolución es negativo, es decir, absorbe calor del medio para disolverse en el agua de la saliva, con lo que provoca la sensación de frescura al masticar chicle.

Polvos para hornear

También llamados gasificantes para panificación o leudantes químicos, son la mezcla de dos sustancias, una ácida y otra alcalina, cuyo contacto en agua produce CO_2, como ocurre al añadir vinagre al bicarbonato de sodio. Para que el gluten de trigo de la masa panificadora se expanda requiere fuerte presión interna de un gas, el cual proviene de cuatro mecanismos:

1. Del CO_2 producido por los polvos para hornear.
2. Del CO_2 producido por las levaduras.
3. De las burbujas de aire caliente que se desprenden de la masa en el horneado.
4. Del vapor generado en el horno.

La producción del CO_2 microbiano toma una hora o más y es adecuada para masas muy elásticas capaces de retenerlo; sin embargo, las masas suaves de los pasteles no lo mantienen tanto tiempo y debe generarse en pocos minutos, como ocurre con los polvos para hornear.

Estos aditivos se fabrican a partir de sales ácidas de fosfatos, sulfatos y tartratos de sodio, calcio o aluminio; el bicarbonato de sodio es el álcali más común y es tan sensible que desprende el gas con el ácido láctico del yogur añadido a las masas. Cuando se aplican en cantidad insuficiente no producen el CO_2 necesario, mientras que en exceso incrementan el pH, rompen la estructura del pan, la vuelven gruesa e irregular, generan sabores amargos, favorecen la reacción de Maillard y alteran los pigmentos de las frutas. La cantidad requerida depende de la altitud, ya que a nivel del mar se necesita hasta tres veces más que en la Ciudad de México, puesto que se debe vencer una mayor presión atmosférica; la harina para pan blanco contiene más gluten que la de los pasteles, es más elástica y menos sensible a la altitud.

Los polvos para hornear de doble efecto liberan una parte de CO_2 en el amasado y otra más en el horno a altas temperaturas; contienen sulfato de aluminio y sodio o fosfato de aluminio y sodio y bicarbonato de sodio, principalmente. Esta doble acción elimina el riesgo de que el pan se baje o pierda volumen, cuando entra una corriente de aire frío al horno, por ejemplo al abrir la puerta para verificar el grado de cocción.

Debido a su higroscopicidad, estos aditivos pierden actividad al humedecerse, razón por la que se mezclan con almidón para que éste retenga el agua; es recomendable almacenarlos en recipientes herméticos y en lugares frescos; para comprobar su vigencia debe observarse el burbujeo que producen al mezclar una pequeña cantidad con agua.

Potenciadores del sabor

También llamados acentuadores o realzadores, intensifican y enriquecen el sabor deseado y eliminan el indeseado; lo hacen en concentraciones tan bajas que por sí solos no contribuyen al sabor del producto, pero favorecen la percepción de las notas importantes del alimento y aumentan la palatabilidad.

Entre los potenciadores salados más importantes están el glutamato monosódico o GMS (*monosodium glutamate*, *MSG*), los ribonucleótidos, las proteínas vegetales hidrolizadas y los extractos de levadura, todos relacionados con el sabor umami.

Los japoneses llamaron al GMS *aji-no-moto*, que significa origen o esencia del sabor y que está presente en forma natural en el queso parmesano, hongos, algas marinas y jitomate, ingredientes de uso frecuente en la cocina para realzar sabores. Es termoestable *y* es el potenciador sintético más empleado en sazonadores, consomés de pollo y muchos otros productos; se usa como sustituto de la sal, ya que provoca la misma sensación con menor concentración. Su consumo excesivo se ha relacionado con el llamado "síndrome del restaurante chino", que implica palpitaciones y dolores musculares, aunque con poca evidencia científica.

Los ribonucleótidos constan de una base nitrogenada, una ribosa y un grupo fosfato; destacan el inosinato y el guanilato de sodio, ambos muy potentes y se emplean a sólo 10% del GMS, pero son termosensibles y se destruyen a alta temperatura, como las del horneado.

Las proteínas vegetales hidrolizadas se obtienen por la acción de proteasas como la papaína y la bromelina en la soya, maíz o trigo y están conformadas por muchos aminoácidos y péptidos. Los extractos de levadura provienen de la autólisis (es decir, su propia hidrólisis) de las levaduras, que da como resultado una mezcla de aminoácidos, sales y carbohidratos.

Por el lado de los potenciadores dulces destaca el maltol y el etilmaltol, que se aplican en concentraciones de 50 ppm en jugos de frutas y diversos postres en los que ayudan a reducir la cantidad de sacarosa; el neotamo, edulcorante sintético, también tiene un efecto potenciador.

Probióticos y prebióticos

La OMS define probióticos (del latín *pro,* a favor, y *bios,* vida) como: *bacterias que permanecen activas en el sistema digestivo y potencian un efecto inmunológico y de protección contra patógenos, incluyendo a Helicobacter pylori, responsable de la gastritis y las úlceras*. Son microorganismos que fortalecen la microflora benéfica del intestino grueso, reducen la dañina, como salmonellas y clostridium y proporcionan protección inmunitaria al sintetizar inmunoglobulinas y al facilitar la proliferación de linfocitos y macrófagos. El intestino grueso, y en especial el colon, es un hábitat en equilibrio donde viven billones de bacterias benéficas que participan en el metabolismo y en la síntesis de vitaminas, pero también de bacterias dañinas; las infecciones aparecen cuando este equilibrio se rompe por una mala alimentación o una inadecuada higiene personal. Es tan grande la colonia de microorganismos, que en conjunto llegan a pesar hasta medio kilogramo en un adulto.

Entre los probióticos más comunes están *Lactobacillus acidophillus, bulgaricus* y *casei* y *Bifidobacterium infantis, lactis, bifidum* y *longum*. Cabe aclarar que la leche materna contiene el llamado factor bífidus, que propicia el desarrollo de las bifidobacterias productoras del ácido láctico en el intestino del infante y que actúa como un primer frente de defensa

contra patógenos; el término bífido proviene del latín y significa "partido en dos", ya que estos microbios muestran una estructura como de dos cabezas, y se utiliza también para referirse a la lengua bífida de las serpientes.

Para surtir efecto, los probióticos deben cumplir condiciones como las siguientes:

a) Mantenerse activos en el alimento, ya que las altas temperaturas los destruyen, aun cuando existen encapsulados con mayor resistencia térmica.
b) Ser habitantes normales del intestino.
c) Sobrevivir a la fuerte acidez del estómago (pH 2.2) y a los ácidos biliares para poder llegar a su destino en una elevada concentración.
d) Tener cortos tiempos de reproducción.
e) Sintetizar compuestos antimicrobianos.

Con base en lo anterior, las bifidobacterias son más convenientes que las bacterias del género lactobacilos y estreptococos. La principal fuente de probióticos son los lácteos fermentados, como jocoque y yogur, que contienen cientos de millones por gramo y para cuya conservación se utiliza la refrigeración; en la farmacia también se expenden probióticos liofilizados.

Por su parte los prebióticos (del latín *pre,* antes, y *bios,* vida), son hidratos de carbono que estimulan el crecimiento de los probióticos y se definen como: *ingrediente alimenticio no digerible que afecta de forma benéfica al hospedero, estimulando selectivamente el crecimiento y la actividad de una o más bacterias benéficas del colon y mejorando la salud del hospedero*.

Igual que los probióticos, para que los prebióticos funcionen deben cumplir condiciones como las siguientes:

a) Resistir la acidez del estómago.
b) No ser atacados por las enzimas digestivas del intestino delgado.
c) Estimular selectivamente el crecimiento de las bifidobacterias y los lactobacilos.

Entre los principales prebióticos están fibras, polidextrosa, lactitol, lactulosa, inulina y oligofructosa; las dos últimas están presentes en forma natural en espárrago, alcachofa, cebolla, cebollín, ajo, raíz de achicoria, poro (puerro) y agave; también están disponibles comercialmente para usarse como nutracéuticos. El llamado "tratamiento simbiótico" implica el consumo conjunto de probióticos y prebióticos, como los que contienen los yogures.

Saborizantes

La legislación mexicana define a los más de 2 000 saborizantes aceptados como: *la sustancia o mezcla de ellas de origen natural, las idénticas a las naturales y las sintéticas artificiales que se utilizan para proporcionar o intensificar el sabor o el aroma de los productos*. Las primeras, las de origen natural se obtienen de plantas y de otros vegetales mediante diversas técnicas de extracción, por ejemplo con disolventes orgánicos, arrastre con vapor o con

fluidos supercríticos (CO_2); incluye a los concentrados, extractos, oleorresinas y aceites esenciales. A estos últimos se les llama así porque se pensaba que eran la quinta esencia del vegetal. Las idénticas a las naturales son sustancias sintéticas, pero exactamente iguales a las responsables del sabor de los alimentos naturales. Por último, las sustancias clasificadas como sintéticas artificiales no se encuentran en forma natural, pero se sintetizan y se usan como aditivos por su poder saborizante. Todas son moléculas cuya estructura química es de ácido, aldehído, cetona, éster, éter, lactona o terpeno.

Los sabores empleados en la fabricación de alimentos se producen en la industria al mezclar unos cuantos saborizantes autorizados; el saborista cuenta con una amplia gama de sustancias con las que imita, mejora o crea sabores. En el aroma natural de la vainilla se han identificado por cromatografía más de 250 sustancias, al igual que las 800 del café recién tostado, las 175 de la piña o las más de 400 de algunos quesos; sin embargo, sólo menos de 10 son las realmente importantes, de manera que para igualar un aroma natural en el laboratorio se deben mezclar pocas sustancias sintéticas.

La vainilla es un saborizante natural muy popular y se usaba para aromatizar las bebidas de cacao antes de la llegada de los españoles a América. Proviene de una orquídea blanca cuyas vainas oscuras debajo de las flores contienen el principal agente activo, la vainillina, que se concentra en aproximadamente 2% en las semillas y en el líquido aceitoso que las rodea. En la actualidad existen muchos sustitutos a base de la vainillina sintética producida a partir de hidratos de carbono de la madera, y que junto con el color caramelo, imitan el extracto natural.

Sal y azúcar

La sal común (cloruro de sodio, NaCl) es tan importante que el término *salario* proviene del latín *salarium,* que correspondía a la cantidad de sal que se entregaba como pago a los trabajadores romanos para que conservaran sus carnes y otros alimentos. Se obtiene de tres fuentes: manantiales de agua salada (que es la menor), las minas y el mar. La única roca comestible es la de la sal, pero puede contener arcillas grises, rosas y negras y algas que le confieren colores y sabores característicos. La más común es la de mar, cuya cristalización por evaporación solar produce diferentes granulometrías (fina o gruesa) y su refinación determina su pureza. La fina se solubiliza rápido y penetra más fácilmente en los alimentos, por ejemplo en las populares *palomitas de maíz,* mientras que la sal gruesa es la más utilizada por los profesionales de la cocina porque se disuelve lentamente y es usada para las copas de las *margaritas* tequileras.

Para evitar que sus microscópicos cubos de paredes lisas se peguen, a la sal se le añade de 1 a 2% de antiaglomerantes como el ferrocianuro de sodio (sin relación con el cianuro tóxico) o amarillo de Prusia; sin embargo, algunos de estos aditivos son insolubles en agua y causan turbiedad en las soluciones salinas. Se fortifica con 100 ppm de yoduro de potasio para combatir el bocio, pero en climas cálidos y húmedos o a pH ácidos se oxida y libera yodo que altera el sabor del alimento; por ello, muchos profesionales de la cocina no usan sal yodada. También se le adiciona 100 ppm de flúor para la prevención de caries.

En México, el azúcar de mesa o sacarosa se obtiene de la caña, aun cuando en países templados se extrae de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*). La caña limpia proveniente de la cosecha o zafra, se corta, tritura entre rodillos dentados y se prensa para obtener, por un lado el bagazo que se emplea como combustible, y por otro un jugo cuya acidez se neutraliza con cal; se le añade bióxido de azufre para blanquearlo y se prensa para obtener un líquido que se concentra por evaporación y que forma cristales; mediante centrifugación se separan los cristales de sacarosa y la melaza o mascabado que se emplea para fabricar etanol, ron y, por deshidratación, el tradicional piloncillo (el nombre deriva de su forma de cono truncado o pilón).

El azúcar moreno es menos refinado que el blanco debido a pequeñas cantidades de melaza residual; ambos generan prácticamente las mismas calorías, aun cuando el primero tiene un Índice glucémico ligeramente menor. La sacarosa fina se disuelve rápidamente en bebidas frías y se utiliza también en la panificación; por su parte, el azúcar glass, aún más fino, es higroscópico y para evitar su apelmazamiento se le añade de 2 a 3% de almidón, pero en agua fría forma grumos difíciles de disolver. Para la elaboración de dulces, el azúcar debe disolverse completamente, sobre todo en agua fría, para no generar grumos y evitar una cristalización indeseada.

Los almíbares (del árabe *al-maiba*, jarabe de membrillo) son soluciones de sacarosa usadas como líquido de cobertura en las frutas enlatadas. El llamado azúcar candi se produce al calentar un jarabe de sacarosa que se deja reposar para evaporar, concentrar y cristalizar el oligosacárido. Para elaborar el algodón de azúcar, una cucharada de éste se calienta junto con el colorante hasta que pierde su cristalinidad y se vuelve amorfo, pero sin llegar a la caramelización; la fuerza centrífuga del aparato hace que salgan por la placa perforada fibras muy delicadas y flexibles del azúcar amorfo, formando una nube que se vuelve pegajosa por la humedad.

Secuestrantes

También llamados secuestradores o quelantes, forman complejos químicos o quelatos con el hierro y el cobre, e inhiben su acción catalítica en la oxidación de grasas, vitaminas y pigmentos; también se emplean para evitar el efecto del calcio y el magnesio de las aguas duras en la textura de los vegetales. Entre los más comunes destacan el EDTA (etilendiaminotetracetato de sodio), los ácidos cítrico, tartárico, málico, oxálico y fosfórico y diversos fosfatos y tartratos.

Sustitutos de grasas

Son compuestos que no producen tantas calorías como las grasas, pero sí sensaciones de cremosidad, untuosidad y lubricación. Algunos están hechos a base de triglicéridos modificados con una combinación de ácidos grasos de cadena corta, saturados y de cadena larga, cuya digestibilidad es menor que la de un aceite común, por lo que generan menos

de 7 kcal/g en lugar de las 9 kcal/g. Otros son elaborados a base de proteínas del suero de la leche y de la grenetina, de almidones modificados de papa y de maíz, de hemicelulosa, celulosa, carragenina, pectinas y polidextrosa. Los de proteínas y de almidones producen calorías (4 kcal/g), pero menos que las generadas por las grasas.

Otros aditivos

Los amortiguadores de pH (*buffers,* en inglés) son sales que conservan el pH de los alimentos dentro de ciertos límites, lo que favorece la estabilidad de algunos componentes, sobre todo de antocianinas y de otros pigmentos sensibles a cambios en la acidez.

Los clarificantes como la polivilpirrolidona o crospovidona, se usan para clarificar la cerveza, el vino, los jugos y el azúcar. Las sustancias masticatorias pueden ser de origen natural provenientes de las plantas de las familias de las *Sapotaceas,* como el chicle, o sintéticas a partir del butadieno y el estireno. Otros aditivos incluyen gases, como los que se utilizan como propulsores de los aerosoles, o el nitrógeno que previene la oxidación de grasas y otras sustancias insaturadas en los empaques de productos fritos, y le confiere rigidez a los envases PET (de bebidas gaseosas y agua); una vez abiertos, el gas se escapa y la botella pierde rigidez.

Los alimentos de origen animal como la leche, las carnes, el pescado y el huevo, se caracterizan por ser perecederos debido a su pH casi neutro y a su alto contenido de agua y nutrimentos que facilitan la proliferación de una amplia gama de microorganismos. Para conservarlos es forzosa la refrigeración, congelación, deshidratación, pasteurización y esterilización.

8

Clases de alimentos

El hombre dispone de muchos alimentos que resultan de las actividades de la agricultura, la ganadería, la pesca y la micología (cultivo de hongos); éstos pueden consumirse directamente en fresco, prepararse en la cocina con los sistemas descritos, o bien industrializarse mediante alguna de las técnicas revisadas antes.

Como hemos visto, todos los alimentos están constituidos por *macrocomponentes:* agua, hidratos de carbono, proteínas y lípidos, y por *microcomponentes:* vitaminas, color, sabor, aroma, fitoquímicos y nutracéuticos y, en su caso, aditivos. Las interacciones físicas y químicas entre ellos producen el pH, la *Aa* y los cinco atributos de los alimentos: color, sabor, textura, inocuidad y valor nutrimental.

Esta misma composición determina la mejor forma de preparación y conservación del alimento; en algunos casos el calentamiento es adecuado, como en la leche y las papas, mientras que en otros es totalmente dañino, como en el aguacate o el plátano; lo mismo sucede con los otros métodos usados tanto en la cocina como en la industria.

Los de origen vegetal se pueden dividir en dos grandes grupos:

a) Cereales, leguminosas y frutos secos.
b) Derivados de la hortofruticultura.

Los primeros tienen una vida larga debido a su poco contenido de agua y baja respiración; sin embargo son atacados por hongos cuando la humedad rebasa el límite de 15%, además de que se propicia su germinación; los segundos, comúnmente

llamados vegetales, incluyen a las verduras y las frutas, contienen más agua, presentan una actividad biológica muy activa y respiran muy rápido, condiciones que los hacen propensos a una acelerada maduración y al ataque de microorganismos; su vida es de pocos días y para conservarlos se necesitan tecnologías que no se emplean con las del primer grupo.

Por otra parte, los alimentos de origen animal como la leche, las carnes, el pescado y el huevo, se caracterizan por ser perecederos debido a su pH casi neutro y a su alto contenido de agua y nutrimentos que facilitan la proliferación de una amplia gama de microorganismos. Para conservarlos es forzosa la refrigeración, congelación, deshidratación, pasteurización, esterilización, etcétera.

A continuación se revisan las principales familias de alimentos, su composición, su reactividad, sus propiedades y algunos de sus derivados.

Cereales

Las culturas europeas y del Medio Oriente se desarrollaron gracias a la disponibilidad de productos como el trigo, la avena y el centeno; las asiáticas con el arroz, y las de Mesoamérica con el maíz. El término *cereal* proviene de *Ceres,* la diosa romana de la agricultura e incluye, además de los mencionados, la cebada, el sorgo y el mijo; también se les identifica con los nombres de *granos* o *semillas*.

Una semilla (del latín *semen*) es el ente biológico por el que la planta se reproduce y consta de tres fracciones: *cascarilla* o pericarpio, que es la capa externa densa de fibra dietética a base de celulosa que protege al *embrión* o *germen*, cuyo material genético produce otra planta, pero que requiere de los nutrimentos que le proporciona el *endospermo* (término de origen griego que significa "en el interior de la semilla"), rico en almidón y proteínas y que representa la mayor parte de la semilla.

Debido a la diferencia en su composición, cada una de las tres fracciones se comporta de forma distinta en la preparación casera o industrial de los cereales. La cascarilla controla el paso de humedad hacia el embrión durante la germinación, pero también restringe la entrada de agua en la cocción; su red de proteínas es igualmente rígida y para desnaturalizarla se requiere mucha energía calorífica, misma que se reduce con un previo remojo de 8 a 10 horas. El embrión contiene, además del ADN, la mayoría de los lípidos y es susceptible a la rancidez. Con el calentamiento en agua, el almidón del endospermo gelatiniza, en especial si el grano se hidrata previamente; de igual forma, la hidrólisis enzimática de este polisacárido produce glucosa y maltosa, que pueden intervenir en las reacciones de Maillard.

Por gramo, las proteínas de los cereales son más baratas que las de la carne, leche o huevo; son deficientes en lisina, treonina y triptófano, pero se complementan con las de las leguminosas (vea en el capítulo 3 la sección Proteínas). La importancia de su aporte vitamínico se comprobó en el siglo XVIII en Europa, cuando surgieron brotes de pelagra por consumir el maíz recién llevado de México pero sin haberlo nixtamalizado y, en consecuencia, carente de niacina biodisponible; igualmente, en el siglo XIX se presentó el beriberi por usar el nuevo arroz industrializado sin la cascarilla que contiene la tiamina.

En general, los cereales se almacenan por muchos meses sin ninguna alteración; sin embargo, con una humedad de más del 15% se propicia su germinación y el crecimiento de *Aspergillus*, de *Clavíceps* y otros hongos productores de aflatoxinas y demás compuestos responsables de la micotoxicosis. Por ello es importante conservarlos en atmósferas de baja humedad.

Maíz

En México es la base de la alimentación y se consume de diversas formas, casi todas a partir del grano nixtamalizado; aporta el 60% de las calorías de la población, así como el 40% de las proteínas y es la principal fuente de calcio. A su llegada, los españoles vieron las láminas delgadas redondas de maíz que usaban los aztecas a manera de pan y las bautizaron como *tortilla,* diminutivo de su tradicional torta de huevo. El maíz está tan enraizado en nuestra cultura, que muchos términos cotidianos provienen del náhuatl: totopos, de *totopoza*, tostar; elote, de *elotl*, mazorca tierna; esquites, de *izquitl*, tostar en comal; *jilote*, las barbas del maíz joven empleadas para infusiones diuréticas, etcétera.

El maíz crece en zonas áridas (a diferencia del arroz que requiere mucha agua), pero también en áreas húmedas que no son apropiadas para el trigo; las distintas variedades: blanca, amarilla, negra, azul, etc., se desarrollan en función de la altitud, de la humedad y del tipo de suelo, pero se caracterizan por su elevado contenido de almidón producido por una eficiente fotosíntesis. Cada variedad tiene una aplicación; así, el maíz palomero es adecuado para las *palomitas,* ya que contiene agua y una cámara de celulosa que explota por la presión interna del vapor producido por el calentamiento; cuando el grano pierde humedad por mal almacenamiento en recipientes no herméticos, no se genera vapor, ni explosión, ni palomitas. El cacahuazintle es de grano grande y suave, adecuado para el pozole, etcétera.

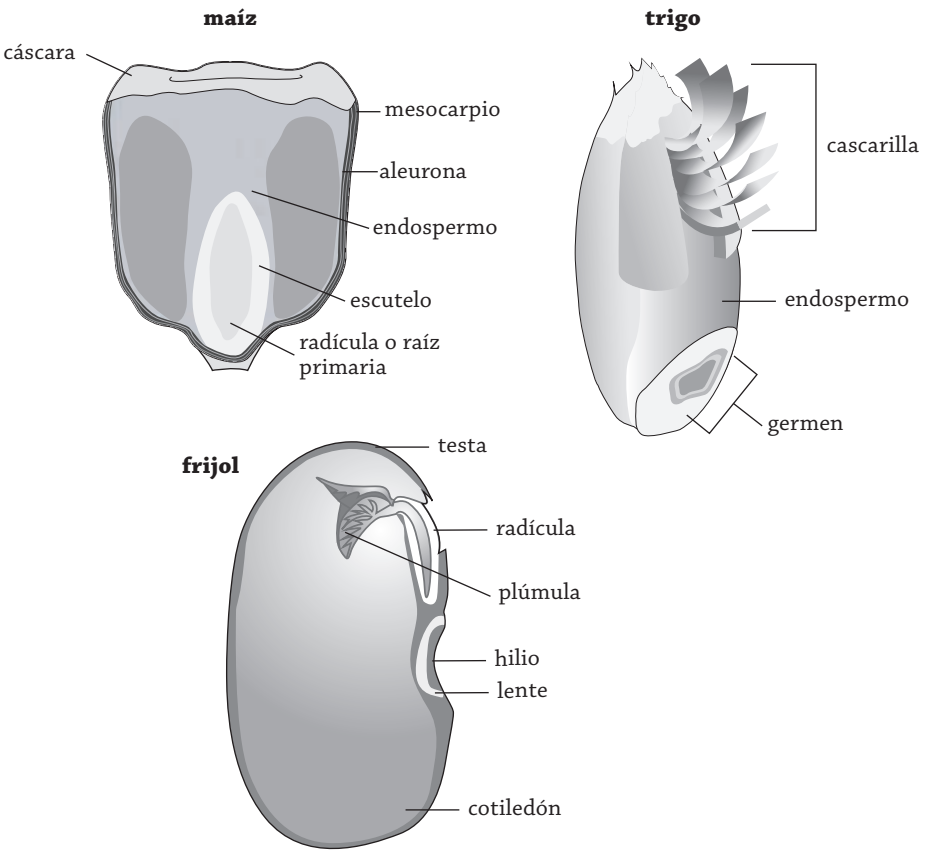
En el maíz existe un equilibrio entre los contenidos de almidón y de azúcares, como en la papa, lo que depende de la madurez del grano; el elote recién cortado es dulce y suave por la presencia de glucosa y sacarosa, pero con el tiempo se vuelve duro y pierde su sabor al transformarse sus azúcares en el polisacárido. Este proceso es inverso al de las frutas como el plátano, en cuya maduración el almidón se hidroliza para producir glucosa, y de ésta, la fructosa y sacarosa.

Su alta concentración de almidón, 70 a 74%, contribuye a la obesidad de muchos mexicanos que consumen en exceso la coloquialmente llamada *vitamina T*: tamales, tortas y tacos; en general, alimentos que tienen como base el maíz. Este mismo almidón sirve de materia prima para fabricar los jarabes de glucosa y fructosa, las dextrinas, los almidones modificados y hasta el etanol como sustituto de la gasolina.

Contiene de 7 a 12% de proteínas, principalmente a base de prolaminas llamadas zeínas, cuya Cuenta Química de 49 es la más baja entre los cereales; esto se debe, en parte, a su deficiencia en lisina, treonina y triptófano, aun cuando sean ricas en metionina. El perfil de aminoácidos del maíz se complementa con el de las leguminosas y por eso la mezcla maíz-frijol tiene una alta CQ (vea en el capítulo 3 la sección Proteínas).

En estado crudo su relación de leucina/isoleucina es inadecuada para la absorción de ambos aminoácidos indispensables y la niacina está en forma de niacinógeno que hace a la niacina biológicamente indisponible. Estas limitaciones se corrigen con la nixtamalización.

Figura 8.1 **Estructuras básicas del maíz, trigo y frijol.**



Nixtamalización

El término proviene del náhuatl *nextli*, cenizas y *tamalli*, masa; es una tecnología que México aportó al mundo, que originalmente se realizaba con diferentes sustancias alcalinas como cenizas, conchas marinas y tequesquite (del náhuatl *tetl,* piedra y *quizquitl,* brotante, a base de bicarbonato de sodio). El método tradicional actual consiste en hervir el grano en agua con 1 a 3% de cal (CaO, óxido de calcio), pH 11-13 y durante 30 a 60 min; el tiempo depende del grosor y de la cantidad de celulosa de la cascarilla y también de la dureza del endospermo que a su vez está determinada por la relación amilosa/amilopectina de los gránulos de almidón. Al terminar este intenso tratamiento térmico-alcalino, el maíz se deja reposar en esa agua caliente por 8 a 12 horas (por lo general toda la noche); posteriormente

se drena el líquido de cocción, llamado nejayote, que por sus sólidos disueltos y el pH tan elevado es un importante contaminante ambiental. El grano se lava para eliminar el exceso de cal y se muele en un molino de piedras que produce fricción y mucho calor. Con la masa resultante se elaboran las tortillas, que se cuecen de 170 a 190 °C por 4 o 5 min en planchas metálicas o de barro.

Es decir, para hacer una tortilla el maíz es sometido a tratamientos muy drásticos en términos de temperatura y pH que sólo los cereales y las leguminosas resisten. Las propiedades plásticas de la tortilla, como flexibilidad y enrollamiento sin romperse, dependen de la variedad de maíz, de las condiciones de nixtamalización y de la presencia de la cascarilla en la masa; la flexibilidad no se consigue con álcalis monovalentes como el sodio de la sosa (NaOH), sino sólo con divalentes, como el calcio de la cal. El aroma típico de la tortilla se forma a través de los distintos pasos de la nixtamalización y se relaciona con compuestos como la 2-aminoacetofenona sintetizada a partir del triptófano.

A pesar de que en la nixtamalización se destruyen algunos aminoácidos y en el nejayote se pierde fibra, albúminas, globulinas, minerales, vitaminas y grasas, el resultado es positivo. Se incrementa la biodisponibilidad de la lisina y del triptófano, precursor de la niacina; se mejora la relación de leucina a isoleucina y ambos aminoácidos se vuelven disponibles; se gelatiniza el almidón; se incrementa el calcio y la relación calcio/fósforo se optimiza para su mejor absorción (cuadro 8.1). Gracias a este tratamiento las culturas precolombinas florecieron; en algunas regiones de África se presentan peligrosos brotes de pelagra por consumir maíz cocido sin álcali. En el sureste mexicano se lava intensamente el grano nixtamalizado para obtener tortillas más blancas, con lo que se induce la lixiviación y la pérdida de una parte de la niacina.

Industrialmente la nixtamalización se realiza por extrusión alcalina, en la que se llevan a cabo las reacciones indicadas, lo que resulta ventajoso por el poco residuo generado.

Cuadro 8.1 **Cambios de la composición del maíz en la nixtamalización.**

	Sin tratar	Nixtamalizado
Proteína (%)	11.0	10.6
Fibra cruda (%)	2.3	2.0
Lípidos (%)	5.1	4.5
Cenizas (%)	1.7	2.3
Calcio (mg/kg)	76.0	1 230.0

Trigo

El término proviene del latín *triticum*, que significa quebrado, y se refiere a la eliminación de la cascarilla del cereal. Es un producto ancestral y tenía una connotación religiosa en Europa y Medio Oriente, como el amaranto entre los antiguos aztecas. Los españoles lo

introdujeron a México no sólo para satisfacer sus hábitos de consumo, sino también para elaborar las hostias; así se provocó el mestizaje entre la tortilla y el pan.

Su capa protectora o *salvado* representa el 13% del grano y está constituida principalmente por celulosa y hemicelulosa, ricas en vitaminas del grupo B, potasio, magnesio y fósforo; el *germen* representa el 4% del grano, contiene el material genético y concentra los lípidos, incluso la vitamina E, igual que las enzimas, y el *endospermo,* que es la reserva nutrimental a base de almidón y proteínas (gluten) equivalente a 83% del grano y base de las harinas de trigo para la panificación.

Existen variedades como la *Triticum durum* (trigo duro) y la *T. aestivum* (trigo blando); los que se cosechan en invierno son sembrados en otoño y se clasifican como duros por su alto contenido de gluten, aproximadamente 14%; mientras que los de verano, con menos proteína, alrededor de 10 %, se siembran en primavera y son blandos y esponjosos por el aire atrapado entre sus proteínas y los gránulos de almidón. La calidad nutrimental de sus proteínas es baja si se compara con las de origen animal, y sólo ligeramente mejor que las del maíz (vea en el capítulo 3 la sección Proteínas).

La fabricación de las harinas se hace con la turbomolienda, que consiste en molinos con diferentes surcos para poder manejar el germen oleoso, el frágil y quebradizo salvado y el duro endospermo, fracciones que se separan mediante tamices y fuertes corrientes de aire; a pesar del esfuerzo mecánico al que se someten, sólo un tercio o menos de los gránulos de almidón se rompen. Este equipo se adapta para obtener harinas con distintos porcentajes de endospermo y de cascarilla y se miden con el grado de extracción; entre mayor sea este índice, habrá más cascarilla incorporada y resultará una harina integral proveniente de la molienda del grano entero, con un grado de extracción de 100%; en contraste, en las de baja extracción se elimina más cascarilla y, en consecuencia, hay menos vitaminas y minerales. En general, en la molienda se hace una extracción del 75 al 80%, en la cual tanto los trigos duros como los blandos pierden un porcentaje de proteína; así las llamadas harinas fuertes contienen más de 10% de proteína, mientras que las suaves, tienen menos de 10%. Estas harinas blancas comerciales tienen aproximadamente 70% de almidón y menos de 2% de grasa; la eliminación de la cascarilla lleva consigo la pérdida de 75% de potasio, hierro, fósforo, magnesio, niacina, riboflavina y piridoxina. Las harinas integrales presentan más proteínas (13 a 14%), pero una parte proviene de albúminas y globulinas que no sólo no participan con el gluten para formar la masa, sino que la inhiben.

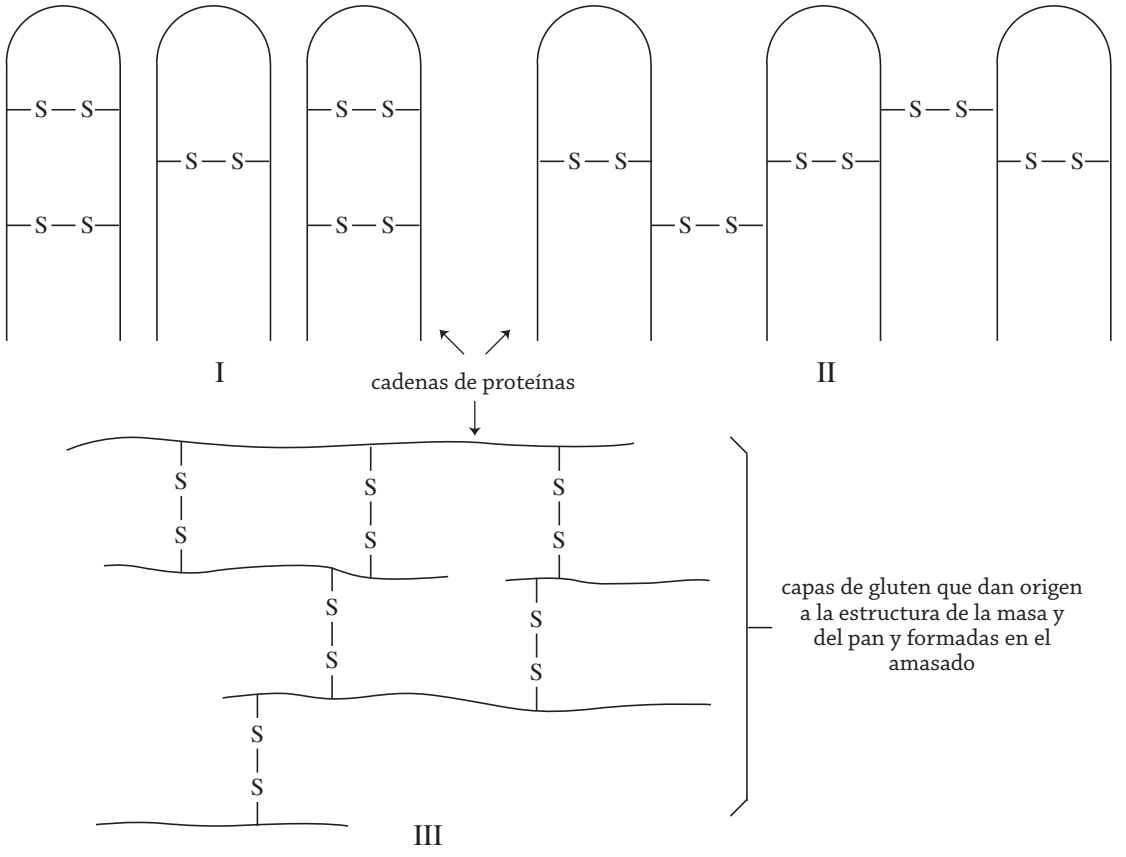
La molienda parcial del trigo duro produce la sémola o semolina (del latín *simila,* que alude a la harina), de granulometría mayor que la harina fina y que es usada para las pastas.

La principal diferencia del trigo con otros cereales, como el maíz y el arroz, es su contenido de gluten que representa 80% del total de las proteínas y que es responsable de las propiedades viscoelásticas que requiere la panificación; está constituido por la gliadina, que es una prolamina, y por la glutenina, clasificada como glutelina; el 20% restante corresponde a globulinas y albúminas.

El gluten (del latín *gluten,* cola o pegamento) posee la característica de unir los gránulos de almidón hidratados del cereal y crear una red proteínica tridimensional, como una esponja, lo que da origen a una masa flexible y elástica. Esto se basa en su alto contenido

de grupos sulfhidrilo o tiol (—SH) procedentes de la cisteína que son muy reactivos y se oxidan para formar enlaces disulfuro (—S—S—), tanto dentro de la propia molécula de proteína (intramoleculares), como con proteínas adyacentes (intermoleculares). Estas uniones son la base de la estructura ya que unen proteínas. Debido al gran número de estos enlaces, con el amasado se reacomodan y alinean para integrar capas flexibles de proteína que se estiran como un resorte durante el esponjamiento del pan (figura 8.2). La glutenina es responsable de la fuerza o tenacidad de la masa, mientras que la gliadina, de la elasticidad.

Figura 8.2 **Enlaces disulfuro del gluten. I Enlaces intramoleculares de la gliadina. II Enlaces intra e intermoleculares de la glutenina. III Orientación de las proteínas del gluten.**



Las harinas fuertes (> 10% proteína) y las harinas suaves (< 10 % proteína) tienen un uso específico en la panificación. Las primeras, ricas en gluten, producen masas elásticas, cohesivas y resistentes, como las que se requieren en la fabricación del bolillo, por sus largos tiempos de amasado y fermentación; por su parte, las harinas suaves, de bajo gluten, son adecuadas para pasteles, galletas y otros productos que requieren poco amasado.

Como vimos antes, la gliadina del gluten del trigo, del centeno, de la cebada y de la avena provoca la celiaquía (vea en el capítulo 3 la sección Intolerancias y alergias).

Panificación

El pan es tan importante en el mundo que el término *compañía* proviene del latín *companion* y significa "la persona que comparte el pan". Junto con el trigo, la panificación fue introducida a México durante la Conquista por los españoles; desde entonces el pan y sus derivados ocupan un lugar relevante en la dieta del mexicano. Varios de los nombres actuales utilizados en la panificación provienen de esa época: el *bizcocho* (del latín *bis,* dos veces, y *coctus,* cocido) era un pan muy cocido para que se conservara por más tiempo, o el *panbazo* (de *-baxo*, bajo), que significa "pan barato", elaborado con salvado y de donde derivó la palabra *pambazo*.

Para elaborar una masa de panificación, el primer paso es adicionar agua a la harina y el resto de los ingredientes base: sal, azúcar y levaduras (figura 8.3). Las proteínas externas de los gránulos de almidón se hidratan, se expanden y se vuelven pegajosas, lo que provoca la unión de los propios gránulos. Con el amasado, los enlaces disulfuro (—S—S—) del gluten, que son flexibles, se extienden como ligas para crear la red que dará origen al pan. Debido a que estas uniones disulfuro son muy reactivas, la masa se deja reposar para inducir la formación de los enlaces estables y definitivos; sin reposo, la masa puede contraerse y afectar el pan en el horneado. Una vez alcanzada la estabilidad con los enlaces disulfuro definitivos, se procede al corte de la masa y a la fermentación, como se hace con el bolillo y panes afines.

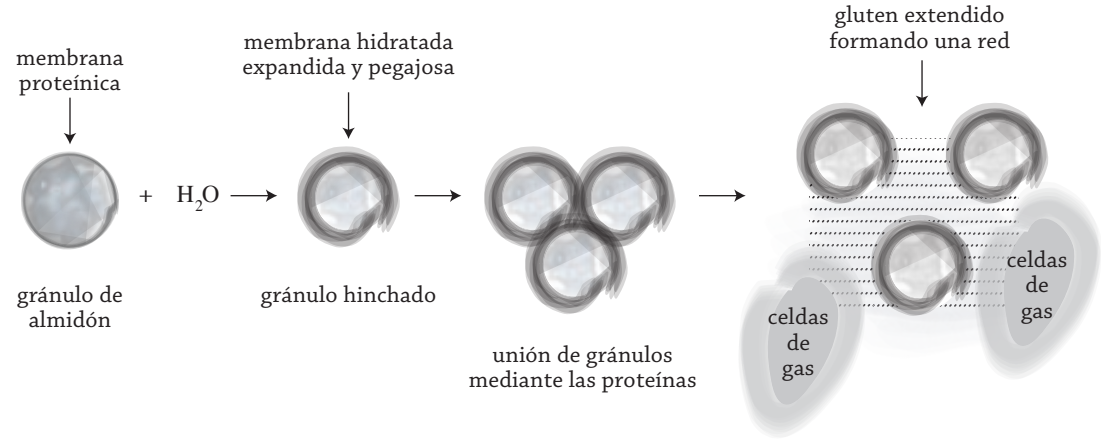
Debido a su relevancia, los panaderos calculan el gluten sometiendo un trozo de masa al chorro de agua; se solubiliza el almidón, las globulinas y albúminas, y queda un residuo pegajoso e insoluble correspondiente al gluten.

La masa se esponja debido a que el gluten elástico se estira por efecto de la presión interna de los gases generados, y para lograrlo primero deben vencer la presión atmosférica. Estos gases provienen del CO_2 de las levaduras y de los polvos para hornear, así como de las burbujas de aire caliente y del vapor que se desprenden en el horno. En general, el gas producido por la fermentación de las levaduras forma el *migajón,* mientras que el de los polvos para hornear, la *miga* de la textura porosa de los pasteles. Dicho esponjamiento de la masa se favorece con la adición de clara de huevo, por ser un importante espumante, pero se inhibe en presencia de grasa o de aceite. Esta inhibición se debe a que los triglicéridos cubren las proteínas externas de los gránulos de almidón y evitan su hidratación y pegajosidad, rompiendo la continuidad proteínica de la masa (figura 8.3). De hecho, en el caso de pasteles y mantecadas se requiere de una textura suave y tersa que se logra con la adición de grasa y aceite a la harina, antes que los líquidos, para evitar la textura rígida del gluten, típica del pan blanco; al mismo tiempo, esta grasa y aceite incorporan aire durante el batido y hacen más esponjosa esta masa.

La amplia gama de productos de la panificación se obtiene al variar las cantidades de harina, grasa, huevo, azúcar y leche o agua. Esto se debe a que en cada caso se propician

interacciones físicas y químicas específicas que dan origen a una determinada textura, como puede ser la rígida de un pan blanco o la muy suave de un panqueque. Por consiguiente, los pasteles suaves y más estables se obtienen con cantidades equiparables de los ingredientes; en estas circunstancias el producto elaborado resiste hasta la apertura del horno durante la cocción. Por su parte, cuando se agrega más huevo y menos harina se produce una espuma con el aire atrapado y el bióxido de carbono de la fermentación; esta formación tan esponjosa sólo se estabiliza cuando las proteínas y el almidón interactúan y producen una estructura rígida durante el horneado. Cabe indicar que estas espumas se colapsan al abrir el horno antes de tiempo ya que el aire frío provoca la caída de las burbujas y produce pasteles cóncavos y mal formados; para evitar estos casos es recomendable tener un horno con ventana para seguir el desarrollo de la masa sin necesidad de abrirlo.

Figura 8.3 **Formación de la masa de panificación.**



Levaduras

La tradicional levadura de cerveza, *Saccharomyces cerevisiae,* convierte la glucosa en CO_2 y etanol en una proporción que depende de la disponibilidad de oxígeno. La panificación requiere mucho gas y por eso se necesita airear la masa, contrario a la cerveza y a los vinos en los que se debe restringir el oxígeno para favorecer el etanol. Además de la acción propia de las levaduras, las amilasas, maltasas y sacarasas endógenas de la harina también participan; su acción conjunta sobre el almidón y la sacarosa genera la glucosa que require la fermentación.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

Glucosa	51.5 partes de etanol		49.4 partes de bióxido de carbono

La levadura deshidratada contiene 8% de agua y la compacta 70%; la primera se almacena en lugares secos y en envases herméticos para que no se reactive con la humedad del aire; la segunda requiere refrigeración. En ambos casos, su temperatura óptima es de aproximadamente 30 °C, pero es preferible manejar la masa en el rango de los 20 a 25 °C para evitar contaminaciones microbianas indeseables; la levadura se inhibe y no funciona con agua muy fría o a más de 45 °C. Las altas concentraciones de sal o azúcar causan su plasmólisis, por lo que la levadura se sustituye con polvos para hornear en recetas ricas en estos ingredientes. Un amasado inadecuado no oxigena la masa, se crean condiciones anaeróbicas en el centro de ella y se favorece la síntesis de etanol en lugar de gas; así, después de una primera fermentación es mejor picar la masa, amasar de nuevo, airear y fermentar otra vez.

Por otra parte, una actividad excesiva de las levaduras es dañina debido a que genera mucho gas y sabores amargos indeseables; para mantener el desarrollo de estos microorganismos en límites adecuados, se añade aproximadamente 1.5% de sal, que además mejora el sabor, inhibe las proteasas endógenas que hidrolizan y debilitan el gluten, establece enlaces iónicos con las proteínas para fortalecer el propio gluten y también promueve el brillo en la corteza del pan.

Para la producción de bióxido de carbono vía polvos para hornear o fermentativa, la altitud del lugar es muy importante. A menor presión atmosférica como la de la Ciudad de México, el CO_2, el vapor de agua y las burbujas de aire se desprenden más fácilmente que, por ejemplo, en Acapulco, porque tiene menor resistencia y no permanece suficiente tiempo para ejercer la presión necesaria que estire el gluten; ante tales condiciones los productos no esponjan, se vuelven planos, grumosos y secos. Es un hecho que el pan crece más rápido en el Distrito Federal que en la costa y para compensarlo se incrementa la concentración de los polvos para hornear hasta tres veces; no ocurre lo mismo con las levaduras, porque la temperatura en las costas es cálida y favorece una fermentación más rápida que compensa la falta de levadura por la gran presión atmosférica. En contraste, para los lugares de gran altitud se debe reducir la levadura o los polvos para hornear e incrementar la cantidad de agua para evitar la deshidratación.

Horneo

El horno funciona hasta 240 °C, temperatura que nunca se alcanza en el interior del pan. La masa se introduce a 30 o 40 °C y de inmediato se incrementa la producción de CO_2 por estimulación de las levaduras, pero ésta termina a los 15 a 20 min por su desactivación térmica a partir de los 45 °C. Con el incremento de la temperatura ocurre la gelatinización del almidón, la evaporación del etanol producido, la formación y desprendimiento del vapor de agua y la migración de las burbujas de aire caliente; al tiempo que se expande el gluten, se induce la interacción entre proteínas y almidón que resulta en la integración de la estructura sólida del producto horneado.

La superficie de la masa alcanza 190 °C, se deshidrata, forma una costra y se propicia la reacción de Maillard con las albúminas, globulinas, azúcares propios o añadidos y con los lácteos de la receta, pero también ocurre la caramelización en menor proporción. Aun cuando estas reacciones son responsables del sabor, la gliadina y la glutenina también contribuyen por su alto contenido de ácido glutámico con un efecto semejante al GMS.

Por otra parte, la costra contribuye a que el agua permanezca en el interior y no sobrepasa 100 °C, temperatura suficiente para generar el vapor que es responsable del cocimiento del interior del pan. En estas condiciones de humedad y temperatura no ocurre la reacción de Maillard y por eso el migajón del bolillo se mantiene blanco.

Muchos factores influyen en la transferencia de calor en el horno, incluido el molde; así, los de color negro absorben mayor cantidad de energía radiante que los blancos que la reflejan y, en consecuencia, se calientan hasta 8 °C más; los de vidrio son transparentes a las radiaciones e incrementan su temperatura más fácilmente que los metálicos. Una vez fuera del horno, el pan sigue desprendiendo vapor, pero la transferencia de calor va del exterior más caliente al interior.

Durante el horneado, el bióxido de carbono y las burbujas de aire expanden la masa de los pasteles y sólo hasta que las proteínas desnaturalicen y los almidones gelatinicen para formar la red de la espuma de estos productos, se integra una red estable; antes de esto, cuando se abre el horno, las corrientes de aire frío provocan la contracción de los gases y esto produce un pastel cóncavo y mal formado.

Pasta de hojaldre

El hojaldre o feité es una masa crujiente de origen árabe con la que se elaboran empanadas, orejas, volovanes (del francés *vol au vent*, vuelo al aire) y el famoso *croissant;* este último significa "creciente", en francés, y se refiere a la fase de la luna que es emblema de la bandera turca, en la que los panaderos franceses se inspiraron para conmemorar la derrota otomana al intentar invadir Viena en 1683.

La estructura del hojaldre es a base de muchas capas de masa muy delgadas de unos 0.02 mm de espesor y separadas por otras de grasa que funcionan como lubricante. Las capas se forman por los pliegues o dobleces del paño de masa, siempre acompañados de margarina o mantequilla; por ejemplo, con seis dobleces se obtienen 730 capas de masa y 729 de grasa.

La grasa debe ser plástica y estar sólida durante la formación del hojaldre, ya que si funde se escurre y las capas de masa se pegan; por eso el paño siempre debe manejarse frío y es mejor que el panadero no lo manipule mucho con las manos, para no calentarlo.

En el horno, las capas lubricadas de masa se separan y expanden por la presión del vapor generado, de modo que alcanzan hasta siete veces el volumen de la masa; la grasa se funde, pero de forma paralela las proteínas se desnaturalizan y el almidón se gelatiniza para integrar la red típica crujiente. Debido a que la fuerza impulsora es el vapor, cuando hay exceso de agua se genera mucho y la estructura se rompe, mientras que en deficiencia no se produce la expansión; por ello, al considerar el agua de la receta se debe incluir hasta la que está contenida en la margarina o mantequilla. La superficie del pan se puede barnizar con algún derivado lácteo o con huevo para facilitar las reacciones de Maillard y de caramelización.

Deterioro del pan

El pan envejece y se hace duro por la retrogradación del almidón. Este cambio es 5 o 6 veces más rápido en refrigeración que a temperatura ambiente o en congelación, aumenta

con la exposición al aire y puede ser reversible con el calentamiento a 50 o 60 °C del pan duro y humedecido para propiciar la hidratación del almidón. Los emulsificantes más polares como el monoestearato de glicerilo y diversos ésteres de los ácidos tartárico, láctico y cítrico, así como el estearoil-2-lactil-lactato sódico (*SSL*, por sus siglas en inglés), reducen el endurecimiento al interaccionar con el almidón y evitar la unión entre sus moléculas de amilosa.

Otra forma de deterioro es debido al desarrollo microbiano del *Bacillus subtilis,* que provoca la formación de hilos en la miga, lo que provoca el llamado *pan hilado*.

Pastas

Las pastas son originarias de China y en una de sus travesías Marco Polo las llevó a Italia. En México se consumen principalmente en sopas de diversas formas y tamaños; elaboradas con sémola que posee alto contenido de gluten, de modo que absorbe poca agua y seca con facilidad. Los trigos bajos en proteína, o altos en almidón, no proporcionan la firmeza que se requiere y además provocan apelmazamiento en la cocción de la pasta. Si no se añaden pigmentos, su ligero color amarillo se debe a los carotenoides del endospermo. La normatividad mexicana establece la adición de tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, hierro y zinc a estos productos.

Para fabricar el espagueti y sus variantes, la sémola se mezcla con agua tibia y se le puede adicionar huevo y colorearla con espinaca o betabel deshidratados; después del amasado se extrude para darle la forma deseada. El siguiente paso, el secado, es crucial para obtener productos de calidad. Si se hace rápido la pasta se quiebra; si es lento se deforma y por eso implica varias etapas a diferentes temperaturas controladas en el túnel de secado; inicia a más de 85 °C y termina a 70 °C para formar la red de proteínas que da rigidez a la pasta y evita que se desintegre en la preparación culinaria.

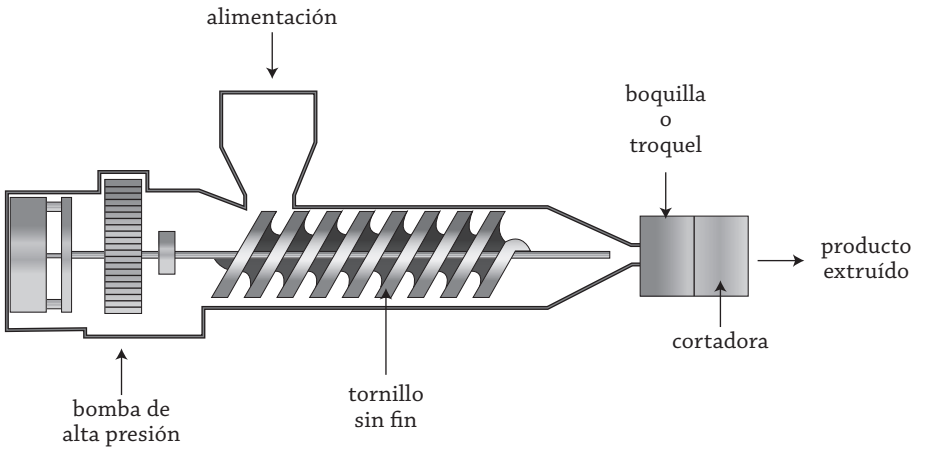
El espagueti *al dente* (del italiano *al diente*) se refiere al que, una vez cocido, ofrece cierta firmeza al diente, o que está suave por fuera y más firme por dentro. Para lograr esto se recomienda utilizar un litro de agua hirviendo por cada 100 g de pasta; con esta alta proporción de líquido se mantiene la temperatura después de la adición del espagueti; la cocción se logra en menos de 15 min y el agua diluye el almidón gelatinizado desprendido que puede pegar la pasta. Para evitar este apelmazamiento, también se recomienda adicionar un poco de sal y aceite, que ayudan a separar las moléculas de almidón.

Productos extrudidos

La extrusión es ampliamente usada en las industrias del plástico y el metal, pero también para fabricar hojuelas de maíz, cereales para el desayuno, arroz inflado, barras de cereales, imitación carne a base de soya, *hot dogs,* papas, alimentos para mascotas y para nixtamalizar el maíz. El principio de operación es un cilindro de alta presión de 30 a 60 bar con un tornillo sinfín que fuerza la mezcla de materias primas a pasar por una boquilla o troquel

de una determinada forma, para después cortar el producto saliente a la longitud deseada; el equipo puede operar a altas temperaturas con una camisa con vapor, o bien en frío para productos sensibles.

Figura 8.4 **Extrusor.**



Por ejemplo, cuando se alimentan al extrusor la sémola o harina de trigo mezclada con 20 a 30% de agua y todos los demás ingredientes , la fuerte presión interna genera tanta fricción que incrementa la temperatura hasta 170 °C, lo que provoca la gelatinización del almidón, la desnaturalización de las proteínas y la destrucción de microorganismos y enzimas; al mismo tiempo, la viscosidad de la mezcla presurizada disminuye, pero al salir de la boquilla se encuentra a presión atmosférica, cambio que provoca una vaporización inmediata del agua y la creación de una estructura porosa con sus proteínas y polisacáridos orientados en el sentido del flujo; esta porosidad facilita la absorción de agua o leche según se requiera, como en el caso de los cereales para el desayuno. El gran esfuerzo mecánico no debe dañar las proteínas ni los gránulos de almidón, ya que otra forma no soporta el troquelado y el producto no adquiere la forma deseada.

El proceso no genera efluentes, es una operación de bajo costo y de producción continua y se alcanzan altas temperaturas en poco tiempo, como se sugiere para los tratamientos de HTST. Por su parte, la extrusión en frío se utiliza para productos cárnicos tipo salchicha, en las barras de pescado y en otros alimentos.

Arroz

El arroz (*Oryza sativa*), principal nutriento en países asiáticos, es un cereal muy versátil que se usa para preparar alimentos salados o dulces y hasta bebidas. Su endospermo contiene, en promedio, 80% de almidón y 7% de proteínas, mientras que la cascarilla o

salvado es fuente de celulosa, vitaminas del grupo B y minerales, además de antioxidantes como los tocotrienoles y el orizanol. Cabe aclarar que la gran mayoría del arroz que se consume es descascarillado o perlado, con lo que se pierde de 50 a 75% de la riboflavina, tiamina, niacina, hierro y fósforo.

La cuenta química de sus proteínas es de 77, pero se incrementa hasta 91 al consumirlo conjuntamente con el frijol (vea en el capítulo 3 la sección Proteínas); esta combinación es la base de los *moros con cristianos,* guiso así conocido desde el siglo XVI cuando se expulsaron de España los moros de piel oscura, representados por los frijoles. El arroz no contiene gluten y se usa para fabricar pastas y otros productos para celiacos.

Las variedades con más de 20% de amilosa son más rígidas, gelatinizan a 75 °C, mantienen la estructura del grano en la cocción, absorben poca agua y poco sabor y son adecuadas para guarniciones; por su parte, las ricas en amilopectina, con menos de 20% de amilosa, gelatinizan a 65 °C, son más suaves, menos compactas, en la cocción absorben fácilmente los caldos y desprenden amilopectina que incrementa la viscosidad y ocasiona el aglutinamiento de los granos. El arroz se *pega* o se apelmaza por la acción cementante del almidón que se libera de los gránulos por una continua agitación durante la cocción.

El arroz integral toma el doble de tiempo para el cocimiento debido a que la cascarilla funciona como una barrera para el agua. Para fabricar el precocido o vaporizado (*parboiled,* en inglés), el grano íntegro se remoja y se cuece con vapor a alta presión para favorecer la gelatinización del almidón y la migración de las vitaminas de la cascarilla al endospermo; el producto descascarillado se prepara más rápido en la cocina, contiene más vitaminas y el almidón no se desprende en la cocción.

Algunas variedades contienen antoxantina (del griego *anthos*, flor, y *xanthos*, amarillo), pigmento que se torna blanco a pH ácido, y amarillo en medio alcalino, como el de las aguas duras; en este caso, para mantener el color blanco se acostumbra adicionar jugo de limón al agua de cocción.

Otros cereales

El amaranto (en náhuatl *huautli,* o *tzoalli*, alegría) se remonta a la época prehispánica y adquirió gran importancia como cultivo en el México antiguo, sólo después del maíz. A su llegada, los españoles le llamaron bledo y lo prohibieron debido a que se consumía en forma de figuras de dioses aztecas, lo que les remitía a la comunión católica, y elaboradas con miel de maguey, además, según algunos historiadores, de la sangre de los sacrificios humanos. Contiene alrededor de 66% de hidratos de carbono, 14.5% de proteínas sin gluten y 6.5% de grasas ricas en omega-6; además, presenta el doble de lisina que el trigo y el triple que el maíz y es una buena fuente de calcio (240 mg/100 g), magnesio y fósforo. Para elaborar las tradicionales *alegrías,* las semillas se remojan, se secan, se tuestan hasta que *revientan* y se les añade jarabe de piloncillo.

La avena (*Avena sativa*) se consume por lo general como grano entero en los desayunos y su principal característica es el elevado contenido de β-glucanos, polisacáridos que son fibras que absorben y retienen mucha agua, lo que disminuye el colesterol sanguíneo

(vea en el capítulo 3 la sección Nutracéuticos); contiene gluten, por lo que es inadecuado para los celiacos.

La cebada (*Hordeum vulgare*) se usa principalmente en la alimentación animal y en la producción de cerveza, aun cuando la variedad perla es para consumo humano, y también contiene gluten. La obtención de la malta implica la germinación controlada del grano, en la que las amilasas actúan y producen la maltosa y las dextrinas requeridas por la levadura cervecera; los extractos comerciales de malta se emplean como saborizantes.

El centeno (*Secale cereale*) es una planta parecida al trigo, con 12 a 13% de proteína, deficiente en lisina y empleada en la fabricación de pan debido a su contenido de gluten. Por su parte, el mijo no presenta gluten y se recomienda para los celiacos.

Los antiguos aztecas remojaban las semillas de chía o salvia (*Salvia hispanica*) para producir un líquido viscoso que, mezclado con maíz tostado y molido y miel, se convertía en una bebida refrescante; también obtenían un aceite secante para pintar y posiblemente para guisar. Es una planta herbácea con aproximadamente 20% de proteína, 25% de fibra y 34% de aceite rico en omega-3. Sus brotes tiernos se consumen como verdura cruda o cocida y en forma deshidratada se usa como cereal para el desayuno; además, no contiene gluten.

El trigo sarraceno o alforfón (*Fagopyrum esculentum*) es un pseudocereal con granos triangulares, no pertenece a las gramíneas, tiene sabor muy intenso, un alto contenido de proteínas (10 a 13%, pero sin gluten) y es rico en lisina, contrario al resto de los cereales.

La espelta (*Triticum spelta*), también llamado escanda, es un cereal adaptado a climas húmedos y fríos, más resistente a condiciones extremas que el trigo común.

Finalmente, la granola es una mezcla de cereales como trigo, avena y amaranto, a la que se añaden nueces, almendras, frutas secas y miel, que se cuece para hacerla crujiente; el producto se comercializa en forma de barras y cereales para el desayuno.

Leguminosas

El nombre proviene del latín *legere,* que significa "juntar", y se refiere a plantas con vainas que contienen varias semillas como alfalfa, alubia, chícharo, frijol, garbanzo, haba, jícama y lenteja, y otras que por su alto contenido de aceite (20 a 40%), también se clasifican como oleaginosas: algodón, ajonjolí, cacahuate, canola, girasol y soya. Al fruto seco de las leguminosas se le conoce como legumbre y en general a cualquier semilla o fruto proveniente de una vaina. Las leguminosas tienen la peculiaridad de que, a través de bacterias *Rhizobium,* convierten el nitrógeno del aire en una forma asimilable por la planta que es útil para la síntesis de proteínas; por ello sus cultivos generalmente se rotan con los de cereales, que requieren mucho nitrógeno.

Su *cascarilla* representa de 7 a 9% del total del grano y está integrada por celulosa, hemicelulosa y pectinas; el *hipocotílo* alberga al embrión, con su material genético, y al *cotiledón*, que es el más abundante, 90%; es a base de almidón, proteínas y cuerpos grasos que sirven de reserva energética. Sus proteínas son ricas en fenilalanina, isoleucina, lisina, leucina, treonina y valina y pobres en metionina, a diferencia de los cereales y por eso se

complementan. Dado que contienen menos almidón que los cereales, las leguminosas no sufren grandes modificaciones y mantienen su integridad una vez cocidas. Entre más tiernas, como los chícharos (*Pisum sativum*) y las habas, serán más dulces y menos harinosas; sin embargo, con la maduración los azúcares se convierten en almidón y la semilla se endurece, tal como sucede con el maíz, pero contrario a las frutas como el plátano. Por su alto contenido de fibras presentan bajos Índices Glucémicos y se caracterizan por su rafinosa, estaquiosa y verbascosa, azúcares productores de flatulencia.

Frijoles

La palabra frijol (*Phaseolus vulgaris*) es una deformación del español antiguo *frisol,* que a su vez deriva del griego. El término *judía,* para referirse al frijol, proviene del hecho que los judíos lo comerciaban hace siglos en España, mientras que el de alubia tiene sus raíces en *al-yubia*, palabra árabe que significa *la judía*. Fue uno de los primeros cultivos en el sur de México y del que existen más de 70 variedades: azufrado, amarillo, ayocote, bayo, blanco, gandul, garbancillo, negro, ojo de liebre, palacio, pinto y rosita. El ejote (del náhuatl *exotl*) son las vainas tiernas o inmaduras del frijol.

Contiene 65% de hidratos de carbono y 20 a 25% de proteínas con una baja Cuenta Química, 55, pero ligeramente superior a la del maíz de 49; sin embargo, cuando el cereal y la leguminosa se consumen conjuntamente se complementan sus perfiles de aminoácidos y mejoran a un valor de 80, pero no tan bueno como la mezcla de frijol y arroz que alcanza 91 (vea en el capítulo 3 la sección Proteínas). Son ricos en fibra soluble e insoluble, en hierro y calcio y bajos en grasa, 2%.

Debido a la compactación y rigidez del grano, su cocción en la cocina requiere mucha energía y resulta laboriosa y costosa; sin embargo, se acelera con un remojo previo de 8 a 10 horas adicionado con un poco de bicarbonato de sodio (3 a 4 g/L de agua) para debilitar la hemicelulosa, como sucede con las verduras; en estas condiciones, el grano absorbe 1.3-1.6 veces su peso en agua, con lo que se reduce hasta 50% el tiempo de cocción en la olla a presión. No es adecuado prepararlo a partir de agua caliente, ya que la parte interna se puede cocer antes que la externa y los frijoles quedan duros.

Soya

A pesar de que la soya (*Glycine max*) junto con el arroz representan el pilar de la alimentación en el Oriente desde hace muchos siglos, no es sino hasta hace pocas décadas que en Occidente se utiliza para consumo humano. Es la oleaginosa más cultivada, ya que además de ser básica en la dieta de buena parte de la población, sirve de materia prima para la extracción de su aceite, el más popular en el mundo, así como de lecitina y fitosteroles, y también para fabricar diversas harinas.

Su contenido de proteínas es elevado, en promedio 36%, casi el doble que el de la carne y, a pesar de ser algo deficiente en metionina, su Cuenta Química es la mayor de todas las pro-

teínas de origen vegetal (vea en el capítulo 3 la sección Proteínas). Su 20% de aceite contiene los ácidos grasos poliinsaturados linoleico y linolénico, el monoinsaturado oleico y el saturado palmítico en una proporción de 63, 23 y 14%, respectivamente. Con esta composición, la soya proporciona 32% de sus calorías con las proteínas y 40% con la grasa, cantidades que están por arriba de lo recomendable; sin embargo, el consumo de esta oleaginosa por lo general va acompañada de cereales ricos en almidones que compensan esta situación.

Sus hidratos de carbono constan principalmente de celulosa y oligosacáridos productores de flatulencia; estos últimos se reducen en la soya germinada o en los productos fermentados, tempeh o tofu, ya que son usados por los microorganismos para su desarrollo, tal como sucede con los lactobacilos que consumen la lactosa de la leche. También contiene aproximadamente 2% de lecitina y los tocoferoles antioxidantes. Cabe indicar que existe una soya genéticamente modificada con un mayor contenido de omega-3.

Por otra parte, esta oleaginosa presenta varios factores antinutricionales que afortunadamente se destruyen con la cocción. Destacan las hemaglutininas o lectinas que aglutinan los glóbulos rojos *in vitro* (es decir en el laboratorio, sin la participación de animales de prueba); los inhibidores de proteasas que bloquean la acción de la tripsina, y con ello el aprovechamiento de aminoácidos; los tioglucósidos que inhiben la fijación de yodo en la tiroides; las saponinas (del latín *sapo,* jabón), glucósidos que provocan hemólisis *in vitro* y que al ser amfifílicos actúan como emulsificantes y son responsables del espumado al hervir los granos. Cabe mencionar que los resultados de las pruebas *in vitro* no necesariamente se pueden extrapolar al ser humano.

Los bajos índices de cáncer de próstata, osteoporosis y síntomas posmenopáusicos en Japón y China, se han relacionado con el consumo de soya. Sus isoflavonas actúan como fitoestrógenos, mientras que su aceite y sus proteínas reducen la síntesis de las dañinas lipoproteínas de baja densidad y previenen enfermedades cardiovasculares (vea en el capítulo 3 la sección Fitoquímicos); por lo anterior, la Administración de Drogas y Alimentos *(Food and Drug Administration, FDA),* agencia estadounidense encargada de regular medicamentos y alimentos, autoriza que los productos con más de 6.25 g de soya por ración se anuncien como cardiosaludables.

Como subproducto de la extracción del aceite de soya se obtiene una pasta (vea en el capítulo 1 la sección Tecnología de grasas y aceites) cuya purificación da origen a las harinas entera y desgrasada, a los concentrados y a los aislados con 41, 53, 68 y 93% de proteína, respectivamente. Cada uno de estos ingredientes tiene diferentes propiedades funcionales como emulsionante, espesante, espumante, hidratante y gelificante, que la industria aprovecha para elaborar jamones, mortadelas, salchichas, pastas, sustitutos de leche materna, cereales para el desayuno, etcétera.

La soya texturizada se produce con harinas que después de ser acondicionadas con vapor se extruden a 150 o 160 °C para generar un material a base de una red de fibras con textura semejante a la carne; a partir de estos trozos y partículas gruesas se fabrican las *carnes de soya* que imitan piezas de pollo, hamburguesas y pescado, sin colesterol.

El método tradicional para elaborar la *leche de soya* implica remojar el grano por varias horas, cocerlo a ebullición, molerlo y filtrarlo para hacer una extracción acuosa; ésta se consume directo o bien se precipita con sulfato de calcio para formar una cuajada que

después de prensarla da origen al tofu o *queso de soya*. Industrialmente las bebidas de soya, adecuadas para los intolerantes a la lactosa, se fabrican con los concentrados y adicionados de colorantes, saborizantes, edulcorantes y vitaminas.

Otras leguminosas

Al parecer el nombre lenteja (*Lens culinaris* o *esculenta*) se basó en el término *lente,* referido al cristal pulido que se usa en óptica. Al igual que el chícharo, la lenteja contiene azúcares flatulentos y 20% de proteína, en promedio; ambos tienen una alta capacidad de retención de agua y aumentan hasta 2.5 veces su peso en la cocción. El chícharo se considera verdura cuando es tierno y legumbre en forma deshidratada.

El ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum*) contiene en 50% un aceite muy resistente a la oxidación debido a la presencia de la vitamina E, de compuestos fenólicos y de algunos otros generados en su tostado con propiedades antioxidantes; en el tostado también se sintetizan las sustancias aromáticas que llegan a los platillos donde se usa el ajonjolí, como el tradicional mole.

Debido a que las habas (*Vicia faba*) pueden contener vicina y convicina, aminoácidos tóxicos, su consumo excesivo causa favismo o anemia hemolítica por destrucción de los glóbulos rojos.

La variedad Desi del garbanzo (*Cicer arietinum*) que se cultiva en México, contiene una baja proporción de aceite, 6%, con 20% de proteína, su perfil de aminoácidos se complementa con el del trigo, como se hace al consumir con pan la tradicional salsa de garbanzo *hummus* del Medio Oriente.

Frutos secos

A diferencia de los cereales y las leguminosas, los frutos secos toman mucho tiempo para su desarrollo biológico, están protegidos por una cubierta o cáscara dura y se consumen sin previa preparación como la almendra, avellana, cacahuate, castaña, nuez de Castilla, piñón y pistache. (No confundir con *frutas secas* que se producen por deshidratación, por ejemplo orejones de chabacano y pasas de uvas).

Los frutos secos son buena fuente de proteínas: por ejemplo pistaches, 20%, nueces, 15%, y piñones, 30%, aun cuando son deficientes en lisina y algunas fracciones son responsables de su alergenicidad. Se caracterizan por su alto contenido de aceite, en general más de 50%, con ácidos grasos insaturados muy susceptibles a la rancidez oxidativa durante su almacenamiento; se considera que su linoleico y linolénico, junto con sus polifenoles y su vitamina E, protegen contra enfermedades cardiovasculares al reducir los niveles de colesterol. Contra este efecto positivo está su alta densidad energética, por su elevado porcentaje de aceite.

También contienen vitaminas del grupo B, hierro, zinc, potasio, lecitina y oleiletanolamida; el pistache es rico en luteína, β-caroteno y tocoferoles. La avellana es una buena

fuente de antioxidantes a base de catequinas y de quercetina que se concentran en su cáscara; una vez pelada, pierde mucho de su poder antioxidante.

Para protegerlos contra su rancidez oxidativa se debe evitar la luz solar, el aire, la humedad y las altas temperaturas, pero se les adicionan antioxidantes comerciales. El congelamiento es adecuado ya que por su bajo contenido de humedad no forman cristales de hielo que dañen su estructura, como sucede en los vegetales; sin embargo, pueden absorber olores extraños del refrigerador, sobre todo los liposolubles.

Igual que sucede con la soya, los frutos secos también contienen ingredientes tóxicos y factores antinutricionales naturales, entre los que destacan los glucósidos cianogénicos que liberan ácido cianhídrico por acción enzimática; en las almendras amargas se encuentran pero no son peligrosos, ya que en el tostado se desactiva la enzima correspondiente. El aroma de las almendras se debe en buena parte al benzaldehído producido por reacciones enzimáticas semejantes.

Los cacahuates (*Arachis hipogea*) son frutos redondos, subterráneos, con 45 a 55% de un aceite rico en oleico y linoleico, 10 a 25% de proteína, ácido fólico, niacina, vitamina E, colina, potasio y fósforo; la extracción industrial de su aceite es común en muchos países. Son densos en energía, ya que 100 g generan aproximadamente 600 kcal, mientras que la misma porción de carne grasa produce 200 y los alimentos ricos en almidón, 350. Los tostados contienen menos grasa y sodio que los fritos y salados. La cascarilla es astringente por los polifenoles que también actúan como antioxidantes.

A pesar de su reducida *Aa* están propensos al crecimiento microbiano, incluido el de algunos patógenos como la salmonela y hongos productores de aflatoxinas, sobre todo en el cacahuate; las radiaciones y los epóxidos destruyen los microorganismos, pero no las aflatoxinas.

Vegetales

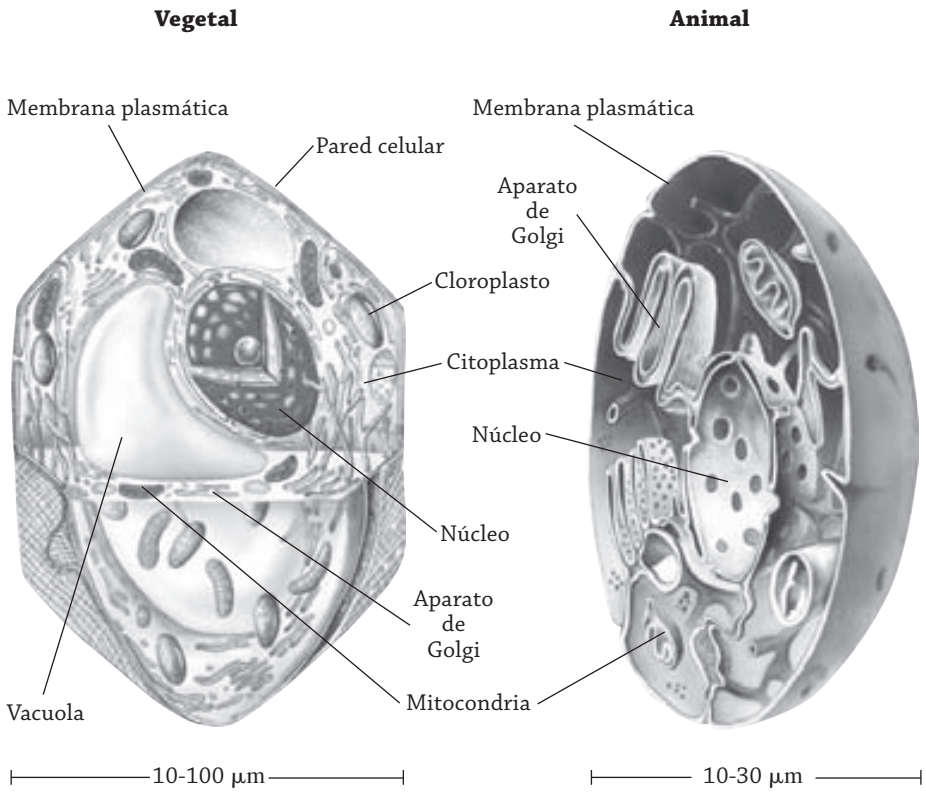
Esta categoría incluye las verduras y las frutas que se distinguen del género animal en diversos aspectos:

- Las plantas son autótrofas, es decir, producen su propio alimento por fotosíntesis, mientras que los animales son heterótrofos y necesitan del externo.
- La reproducción vegetal es con semillas, como en las frutas, mientras que en los animales es por apareamiento.
- Como protección contra depredadores, incluido el hombre, las plantas sintetizan tóxicos, pero los animales pelean o huyen.
- Los animales requieren más energía para su movilidad y por eso almacenan grasa (9 kcal/g), mientras que las plantas la requieren en menor proporción y la guardan como almidón (4 kcal/g).
- Sólo los vegetales contienen fitoquímicos.
- Los animales deben su estructura rígida a las proteínas, a diferencia de los vegetales, que la basan en fibras como la celulosa y las pectinas.

Los fitoquímicos y las fibras hacen de los vegetales alimentos altamente recomendados por la OMS; se aconseja consumir 400 g diarios de ellos divididos en 5 a 7 raciones de verduras y frutas. Estas últimas en menor proporción por su elevado contenido de azúcares. Cabe mencionar que la ingesta del jugo en lugar de la fruta entera no es adecuado, ya que el bagazo que se descarta contiene precisamente la benéfica fibra; a pesar de esto, la jugoterapia ha crecido en algunos sectores de la población al considerar que cura males como diabetes, hipertensión y hasta *quema* grasa.

El tejido vegetal se conforma por la unión de células mediante una mezcla cementante de hemicelulosa, lignina, pectinas y calcio, cuya concentración relativa determina la firmeza y flexibilidad del propio tejido; la estructura y tamaño de las células vegetales y animales es distinta y se muestra en la figura 8.5. Su alto contenido de agua está retenido por los puentes de hidrógeno que establece con la celulosa y las pectinas; este líquido ejerce una presión interna contra la pared flexible y, al expandirla e hincharla provoca la turgencia; al perder agua, por ejemplo con la maduración o el calentamiento, la presión hidráulica se reduce, la pared colapsa y el tejido se vuelve flácido y marchito.

Figura 8.5 **Células vegetal y animal.**

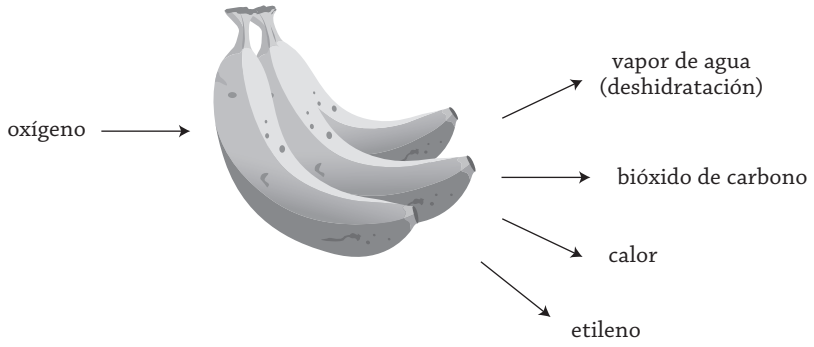


Al morder un vegetal fresco y romper sus células turgentes se provoca una explosión del agua; mientras que con uno flácido no ocurre esta sensación y hasta se requiere más presión mandibular. En ciertos casos, la pérdida natural de humedad y turgencia se recupera por un efecto osmótico al sumergir los vegetales marchitos en agua por algunas horas; la naranja o la verdura absorben el líquido en un proceso que se acelera en agua fría, ya que el material cementante se endurece más fácilmente.

Aun después de la cosecha, los vegetales mantienen su metabolismo, consumen oxígeno igual que la carne fresca y continúan con su ritmo de respiración expresado como mg de CO_2 producido/kg de vegetal/hora. Por ejemplo, las fresas lo hacen a un ritmo de 20 a 40 mg CO_2/kg-h, mientras que las uvas entre 5 a 10 mg CO_2/kg-h; en este sentido, el espárrago y el brócoli respiran muy rápido, seguidos de la lechuga, espinaca, zanahoria, papa, manzana y jitomate. Durante la respiración, la glucosa se transforma en ácidos y éstos a su vez en CO_2 que se expulsa a través de la piel junto con el vapor de agua y el etileno, además de que se genera calor (figura 8.6). La cantidad de etileno producido va desde 0.1 μL/kg-h en el caso de los cítricos, la fresa y la mayoría de las verduras que duran más tiempo en almacenamiento, hasta 100 μL/kg-h para el mamey y la *fruta de la pasión,* cuya vida útil es más reducida por una respiración acelerada.

Una rápida respiración conduce a una rápida maduración y con ello a la culminación de la vida útil del vegetal. Contrario a esto, en ausencia total de oxígeno la glucosa entra en otras rutas bioquímicas que dan como resultado alcoholes y aldehídos que intoxican el tejido y confieren el olor característico indeseable de la fermentación.

Figura 8.6 **Respiración de vegetales.**



Composición química

La composición química de las verduras y las frutas frescas que llegan a la mesa depende de factores como los que se indican a continuación:

- *Condiciones climatológicas del cultivo.* Temperatura, humedad y exposición solar.
- *Características del suelo*: pH, disponibilidad de nutrimentos.

- *Prácticas culturales*. Rotación de cultivos, injertos, riego, fertilización, hormonas, plaguicidas.
- *Tipo de maduración*. En la planta o fuera de ésta.
- *Grado de maduración*. Verde o sazón.

Cada uno de estos factores afecta específicamente alguno de los componentes de los vegetales; por ejemplo, el estrés (por falta de agua o por una temperatura extrema durante el cultivo) propicia productos pequeños pero muy aromáticos o pigmentados; los jitomates y otros vegetales se cortan poco antes de llegar a la total maduración para obtener la máxima cantidad de vitamina C y de ácido fólico; los espárragos se cubren con tierra o con un plástico para evitar los rayos solares, de esta manera no sintetizan clorofila y permanecen blancos, etcétera.

Los vegetales se caracterizan por su bajo contenido de proteínas y grasas, excepto el aguacate, y por su alto porcentaje de agua, fibras, azúcares, vitaminas y minerales. Para ejemplificar: si se quisiera satisfacer el requerimiento diario de 60 g de proteína para un adulto, tendrían que consumirse más de 6 kg de jitomate; su poca grasa desempeña una función muy importante en la biosíntesis de sus aromas y sabores (vea en el capítulo 2 la sección Olfato) y no contienen colesterol, sino fitosteroles. Por otra parte, glucosa, fructosa y sacarosa son responsables del dulzor y sus vitaminas son principalmente las hidrosolubles (C y grupo B, menos la B_{12}) y algunos presentan la E y la K. La biodisponibilidad de su hierro es muy inferior a la que está presente en las carnes.

Además de los cinco sabores básicos, los vegetales presentan otras percepciones como la astringencia y la pungencia. Su amplia gama de colores se debe a los pigmentos antes indicados (vea en el capítulo 2 la sección Color); el rojo de fresas, jitomate, sandía y pimientos son carotenoides y antocianinas; los azul-morado de la ciruela, higos, uvas y berenjena, antocianinas; el verde de las espinacas y el brócoli, clorofila; los amarillo-naranja de la zanahoria, manzana, melón, chiles y naranja, carotenoides y flavonoides; el rojo del betabel y de la tuna, betalaínas.

Esta composición se modifica en los productos industrializados, tipo enlatados, por la adición de salmueras, jarabes y otros ingredientes que penetran el tejido vegetal. De igual manera, también influye la forma de preparación en la cocina; el 20 a 30% del ácido fólico de los espárragos, la espinaca y el brócoli se pierde por lixiviación en el agua de cocción; la fritura incrementa el contenido de grasa y reduce el de agua, etcétera.

Agentes indeseables en los vegetales

Igual que cualquier otro alimento, los vegetales pueden contener agentes con potencial deletéreo que dañan la salud del consumidor; su origen puede ser la contaminación química, principalmente por plaguicidas y metales pesados, la presencia de tóxicos naturales o por contaminación microbiológica.

A diferencia de los animales, que ante algún peligro atacan o huyen, los vegetales sintetizan tóxicos para protegerse y repeler a sus depredadores, entre ellos el hombre y los microorganismos. En general, no representan un grave riesgo siempre y cuando el consumo sea moderado; debe tenerse presente que la toxicidad depende de la cantidad ingerida, además de que la cocción elimina muchos de estos compuestos. Por su importancia destacan los siguientes:

- *Alcaloides*. Son sustancias nitrogenadas amargas con carácter alcalino, como la solanina y la chaconina de la papa y la berenjena, la cafeína del café y el té, y la teobromina del cacao, además de la nicotina, cocaína y quinina, y son tóxicas en concentraciones elevadas. Algunos son glucoalcaloides, es decir, llevan un hidrato de carbono en su molécula.
- *Cianogénicos*. Como la amigdalina de las almendras amargas y de las semillas de manzana, durazno y chabacano que producen ácido cianhídrico al ser atacadas por una enzima que los desdobla; la cantidad del agente deletéreo es mínima y no presenta riesgos, pero en una alta concentración, no encontrada en los alimentos, inhibe la cadena respiratoria y puede provocar incluso la muerte.
- *Hidracinas*. Son agentes termorresistentes de algunos hongos que han mostrado ser cancerígenos a nivel de laboratorio.
- *Aminoácidos tóxicos*. Como la canavanina de la alfalfa asociada con el lupus, que interfiere con la síntesis de proteínas.
- *Bociogénicos*. Relacionados con los glucosinolatos del aroma de las crucíferas, inhiben la disponibilidad de yodo y causan hipertrofia de la glándula tiroides, pero se destruyen con el calentamiento.

Otros compuestos naturales incluyen a la *apiina,* glucósido del apio y del perejil que provoca abortos si se consume en exceso; los *psoralenos* del cilantro y perejil que causan daños al ADN; los *taninos* y hasta la *capsaicina* del chile.

Por su parte, la contaminación microbiológica se induce desde el campo con la tierra, los insectos, etc., y en las prácticas posteriores a la cosecha, por ejemplo el transporte, la distribución y el almacenamiento; cualquiera de ellas puede resultar en la acumulación superficial de salmonella, shigella, coliformes, vibrio, listeria, protozoarios y virus, que por fortuna se pueden eliminar con el lavado y la desinfección adecuados. Para ello, primero se debe quitar la tierra que protege a los microbios con jabones y detergentes a base de sulfato de laurilo y sodio, sobre todo en vegetales de hojas cuya área de contacto es muy grande y alberga muchos microorganismos. Entre los desinfectantes más comunes están los clorados —hipoclorito de sodio, clorito de sodio y dióxido de cloro—, los de yodo, los de ácidos cítrico, láctico y ascórbico, los de extracto de semillas de toronja y los de plata coloidal, esta última en partículas de hasta 100 nm que evitan el crecimiento microbiano por interferencia en la respiración de las bacterias. Si estos microorganismos no se eliminan adecuadamente, se presenta el deterioro de los vegetales.

Deterioro de los vegetales

Generalmente esto ocurre de forma natural una vez completada la maduración y se realiza por la acción conjunta de muchas enzimas y microorganismos; es un proceso normal en la vida de todo ser biológicamente activo, aunque se puede inhibir temporalmente con los sistemas de conservación que se describen más adelante.

Como protección contra los microorganismos, los vegetales poseen los siguientes mecanismos, además de los descritos antes:

a) Una cáscara resistente de celulosa y pectinas, excepto en las fresas de piel muy delicada que se destruye hasta con el lavado.
b) Sustancias antimicrobianas naturales como el ácido benzoico, benzaldehído, antocianinas y aceites esenciales.
c) Ácidos cítrico, ascórbico, málico, tartárico y fumárico que reducen el pH a menos de 4.6 en el que los patógenos no crecen, sino sólo los hongos.
d) Su escasa proteína no es propicia para el crecimiento de patógenos.
e) En estado inmaduro los vegetales son poco atractivos para los microorganismos por su bajo contenido de azúcares.

La maduración suaviza la cáscara y el tejido interno, produce azúcares, reduce la acidez y sintetiza vitaminas, condiciones ideales para el crecimiento microbiano, sobre todo en una atmósfera húmeda y a más de 20 °C. De igual manera, algunas protecciones se pierden por daño mecánico, como el que causa un golpe o una cortadura, además de que la exposición al aire del tejido interno favorece el oscurecimiento enzimático.

Los microorganismos superficiales por lo general no actúan hasta que las condiciones son propicias para ello. Ciertas pseudomonas dañan la cubierta de algunos vegetales y abren el camino para los hongos *Botrytis* y *Rhizopus,* que ocasionan las podredumbres azul, marrón, rosada y gris de espárragos, cebollas, zanahorias, apio, papa, col y pepino, con la producción de sustancias olorosas y una capa algodonosa típica del micelio. Los hongos también penetran a través del pedúnculo de la piña, plátano y manzana, lo que ocasiona la podredumbre negra o antracnosis, y en ocasiones hasta la síntesis de la tóxica patulina. Por su contenido de azúcares, las frutas son fermentadas por las levaduras y sintetizan etanol y CO_2.

Conservación de los vegetales frescos

Al respirar, los vegetales frescos maduran, pierden agua (y con ello turgencia), sobre todo en climas secos y cálidos; sin embargo, para evitar este deterioro natural no es recomendable almacenarlos en una atmósfera húmeda, ya que se favorece el crecimiento fúngico superficial que los daña.

Para retrasar su maduración, y con ello aumentar su vida útil, se utiliza la refrigeración, los empaques semipermeables, las atmósferas reducidas en oxígeno y el recubrimiento

con ceras; estos métodos sólo reducen, mas no eliminan, el ritmo de respiración y la producción de etileno. Al inhibir la respiración no se metaboliza suficiente glucosa y entonces no se produce la energía en forma de ATP para el máximo funcionamiento celular. Es importante no llegar a condiciones anaeróbicas, ya que el vegetal cambia su derrotero bioquímico y resulta en la producción de etanol, compuestos olorosos a fermentación y manchas internas y externas.

La refrigeración casera o industrial es un buen sistema de conservación, ya que inhibe tanto las enzimas endógenas de la respiración como los microorganismos contaminantes. Este proceso conserva las vitaminas, aun cuando en general existe una pérdida de 10 a 20% de la C por ser la más sensible. Sin embargo, no es adecuada para todos los productos; algunos vegetales tropicales sufren el *daño por frío* a una temperatura inferior a 10 °C, debido a que sus células y su sistema enzimático está diseñado para trabajar en condiciones cálidas y este cambio brusco de temperatura provoca modificaciones de su pared celular y la síntesis de olores y colores desagradables que muchas veces sólo se hacen presentes al atemperar el vegetal. Esta alteración provoca que los aguacates no maduren y se oscurezcan, la cáscara del plátano se vuelva negra y la de los cítricos se manche.

Los vegetales tropicales y subtropicales inmaduros se mantienen mejor a más de 10 °C, como ocurre con los aguacates, cítricos, berenjenas, jitomates, melones, pepinos, piñas y plátanos. Una vez maduros pueden refrigerarse sin sufrir daño por frío. Por su parte, las manzanas, peras y otras frutas de climas fríos se almacenan a 0 °C sin sufrir alteraciones; en este caso, su líquido tisular no se congela debido a que sus azúcares y sales disueltas reducen el punto de congelación del agua.

El enfriamiento industrial se realiza en cámaras de refrigeración tradicionales, o bien por hidroenfriamiento que consiste en rociar o sumergir los vegetales en agua muy fría adicionada con algún desinfectante.

Las bolsas de plástico herméticas que no permiten la entrada de O_2 para continuar con la respiración ni la salida del CO_2 producido, generan una atmósfera anaeróbica tóxica para el vegetal; se recomienda hacer pequeñas perforaciones en el empaque para facilitar el intercambio de gases y también la salida del vapor, ya que la condensación como gotas de agua propicia el crecimiento de hongos. Para evitar esto, es recomendable envolver los vegetales en papel absorbente.

Las atmósferas reducidas en oxígeno se usan en cámaras de almacenamiento y en los contenedores para el transporte de los vegetales frescos por largas distancias; se crean con la adición de bióxido de carbono para reducir el oxígeno del aire de 21% a 8%, o bien por la sublimación del hielo seco (CO_2 comprimido) que se coloca entre las cajas. La sensibilidad de los vegetales al CO_2 varía mucho; mientras que las lechugas se decoloran y marchitan, el brócoli y las fresas resisten altas concentraciones del gas.

El recubrimiento con parafina y con ceras de carnauba, candelilla y abeja, además de que confieren una apariencia brillosa, reduce la respiración y la pérdida de humedad y de peso. Si el vegetal contiene residuos de plaguicidas al momento del encerado, éstos permanecerán y no se podrán eliminar con el lavado ni con la desinfección.

Cocimiento de los vegetales

Muchas verduras deben ser cocidas en agua, vapor o aceite para poder consumirlas, pero eso provoca diferentes cambios: se rompe la rígida estructura fibrosa para hacerla más comestible, se gelatiniza el almidón, se eliminan microorganismos y tóxicos naturales, se aumenta la biodisponibilidad de nutrimentos y se generan aromas y sabores.

A partir de los 60 °C se induce la pérdida de la turgencia y rigidez del vegetal por dos efectos que operan conjuntamente.

El primero implica la solubilización de la hemicelulosa, pectinas y calcio que integran el material cementante de las células, y que es más notorio en agua caliente que con vapor, ya que se extrae más cemento. Debido a que la hemicelulosa es más estable en condiciones ácidas, la cocción en agua acidulada con vinagre o jugo de limón toma más tiempo; lo mismo sucede cuando el cocimiento se hace conjuntamente con vegetales muy ácidos, como el jitomate. En cambio, el bicarbonato de sodio o el tequesquite incrementan el pH y facilitan la extracción de la hemicelulosa y la cocción; sin embargo, en exceso, el álcali provoca la desintegración total del vegetal (adecuado para los purés), además de que destruye el ácido ascórbico y la tiamina y genera sabores jabonosos.

El segundo efecto se relaciona con la producción de vapor dentro de la célula, que ejerce una fuerte presión sobre la pared tisular y facilita la salida del agua responsable de la turgencia.

De forma paralela, la cocción también afecta a los pigmentos. La clorofila verde se transforma en la feofitina café en medio ácido, pero se conserva a pH ligeramente alcalino; las antocianinas y las antoxantinas son hidrosolubles y cambian de tonalidad a pH alcalino y en presencia de iones de hierro y de cobre; los flavonoides blancos de la cebolla, coliflor y papa se vuelven ligeramente amarillos a pH 7 o superior, etcétera.

Los vegetales contienen azúcares, sales y otras moléculas pequeñas que los hacen estar en desequilibrio osmótico en relación con el agua. Es decir, al cocerlas se establece un diferencial de concentraciones de agua entre el vegetal y el agua pura; esto hace que el líquido penetre el tejido, lo puede sobrehidratar y hasta romper y es adecuado para elaborar purés. Sin embargo, si se requiere mantener la estructura del vegetal, se debe compensar esta diferencia osmótica con la adición de un poco de sal o de azúcar, que varía en cada caso, pero puede ser de 3 a 5 g/L de agua.

Por otra parte, los vegetales con pectinas, como chícharos, manzanas y peras, pueden endurecerse en lugar de ablandarse al calentarlos en aguas con una dureza de 160 o más ppm. La razón es que estos polisacáridos interactúan con el calcio y forman redes más sólidas y resistentes a las altas temperaturas, a través de un mecanismo semejante al de las mermeladas (figura 1.8).

El contacto del vegetal con el agua provoca la lixiviación o extracción de sustancias hidrosolubles, como vitaminas, pigmentos, aromas y minerales, con una intensidad que depende de su área expuesta, de la temperatura y del tiempo. De todas las vitaminas, la C puede perderse en mayor proporción (de 50% o más), de acuerdo con las condiciones del calentamiento.

La cocción facilita la formación y el desprendimiento de las sustancias aromáticas características de cada vegetal, y también elimina algunas indeseables amargas, como las de la col de Bruselas. Debido a que los compuestos responsables del aroma de los espárragos son hidrosolubles, se recomienda cocerlos en aceite porque de otra manera se pierden en el agua de cocción; en contraste, para el ejote y el brócoli se sugiere agua, ya que sus aromas son más liposolubles.

La cocción en agua implica una temperatura máxima de 100 °C, en olla a presión 120 °C, y en el freído y salteado 140 °C o más. En cada caso se inducen transformaciones diferentes, como las de Maillard que sólo les ocurre en cocimiento sin agua y a 100 °C o más; el salteado produce vegetales jugosos por dentro y crujientes por fuera, etcétera.

Verduras

Las verduras representan la parte comestible de las plantas e incluye las siguientes: *brotes,* germinados de alfalfa y de soya; *bulbos,* ajo, cebolla y puerro; *flores,* alcachofa, brócoli, calabaza y coliflor; *frutos,* berenjena, calabacita, jitomate, pepino y tomate; *hojas,* acelgas, berro, col, escarola, espinacas, lechuga y perejil; *raíces y tubérculos,* betabel, nabo, papa, rábano y zanahoria; *tallos,* apio y espárrago.

Frescas tienen colores vivos, son turgentes y la mayoría inodoras; igual que las frutas aportan mucha fibra y vitaminas, sobre todo las hidrosolubles, además de varios fitoquímicos. A continuación se describen brevemente las principales verduras usadas en la cocina mexicana.

Aguacates

El término aguacate (*Persea americana*) proviene del náhuatl *ahuácatl* (testículo), dado que los aztecas lo asociaban con los genitales masculinos; y guacamole o *ahuacamolli* deriva de *ahuácatl* y *molli*, que significa mole o salsa. Existen diferentes variedades, entre ellas la Hass, la más difundida en el mundo, y la criolla, que se consume con todo y su delicada cáscara delgada.

Para la botánica es una fruta, aunque popularmente no se le considera así debido a su bajo contenido de azúcares. Maduran como lo hacen las frutas climatéricas, según la producción del gas etileno llamado hormona de la maduración (vea en este capítulo la sección Maduración). Se cortan verdes y en una semana a una temperatura entre 15 y 25 °C alcanzan la sazón por la acción del etileno que ellos mismos generan. En la industria y el comercio, esta larga maduración natural se acorta a un día en cámaras cerradas con 75 a 100 ppm de etileno y 25 a 35 °C de temperatura. En el hogar y en restaurantes esta maduración se logra guardándolos en una bolsa de papel junto con plátanos maduros productores de etileno; también se maduran al envolverlos en papel periódico y mantenerlos a temperatura ambiente para que su propio gas cumpla esa función. En estado inmaduro son propensos a dañarse por temperaturas menores de 10 °C, con lo cual no alcanzan la sazón; una vez maduros pueden refrigerarse.

Se caracterizan por su alto contenido de aceite, hasta 20%, razón por la que se les llama *mantequilla vegetal;* son productos ricos en energía y, junto con el coco (35% de aceite) son los vegetales más abundantes en lípidos. Su ácido oleico equivale a 65% del total de sus ácidos grasos y con sus fibras soluble e insoluble tiene un efecto preventivo contra enfermedades cardiovasculares porque reducen el colesterol y las lipoproteínas de baja densidad, al tiempo que favorecen las de alta densidad. Como parte de su fracción lipídica presentan hasta 10% de un material insaponificable integrado por las vitaminas A y E y diversos esteroides que le dan una capacidad emoliente que se aprovecha en cremas y mascarillas cosmetológicas. En el mercado existe el aceite de aguacate embotellado.

Para ser un vegetal, el aguacate contiene un alto porcentaje de proteína: hasta 2%. Su aroma es resultado de diversas rutas biosintéticas que utilizan ácidos grasos y aminoácidos como sustrato y que generan varios compuestos, de los que destacan los terpenos. Su calentamiento produce sustancias muy amargas. Las hojas maduras contienen estragol y anetol que recuerdan el tarragón; deshidratadas se usan como condimento.

Una vez partido, el aguacate se deteriora por la rancidez oxidativa de su aceite insaturado, pero sobre todo por su fuerte actividad del oscurecimiento enzimático. Para evitar este oscurecimiento, se recomienda refrigerarlo y adicionarle jugo de limón, cuyo ácido cítrico además de que reduce el pH, secuestra el cobre que requiere la enzima, así como conservarlo adherido a su semilla, a la que se le atribuye una capacidad reductora que inhibe la reacción, y el uso de recipientes herméticos y películas impermeables al oxígeno.

Por su parte, en la industria han aparecido muchas propuestas para su conservación, casi todas basadas en la refrigeración, la adición de ácidos y de secuestrantes y el empleo de materiales de empaque impermeables al oxígeno; en los últimos años apareció la pasteurización hiperbárica, que combinada con la refrigeración permite conservar la pulpa de aguacate por varias semanas sin daño alguno.

Ajos y cebollas

Estas plantas, junto con el puerro y el chalote, pertenecen al género *Allium* (del latín que significa "oloroso") y se caracterizan por la generación de un fuerte olor que se percibe en una concentración muy baja, de 1 ppm o menos. El mecanismo de producción de sus aromas es semejante al del oscurecimiento enzimático; en su tejido intacto se encuentran tanto los precursores insípidos del aroma como las enzimas que actúan sobre ellos; ambos se ponen en contacto sólo cuando el tejido sufre daño mecánico como mordida, corte o golpe, lo que provoca que la enzima hidrolice el precursor en presencia del oxígeno del aire para producir los aromáticos.

El precursor de la cebolla es un sulfóxido de cisteína que mediante la enzima aliinasa genera compuestos azufrados como mercaptanos, disulfuros y trisulfuros, pero sobre todo el lacrimógeno sulfóxido de tiopropanal que también irrita la cavidad nasal.

Para evitar las lágrimas al cortarla se recomienda hacerlo bajo el agua, ya que el sulfóxido de tiopropanal es hidrosoluble, o bien, a una altura arriba de los ojos; también se sugiere congelarla para disminuir la volatilidad del agente activo o mantenerla por 15 min

en agua fría o muy caliente para inhibir la enzima; otras recomendaciones incluyen cortarla sosteniendo un cerillo quemado entre los dientes para que el carbón adsorba el lacrimógeno. Entre más picada esté la cebolla, tendrá más daño celular, más contacto con el oxígeno y más generación de los compuestos azufrados; una vez cortada, el calentamiento y los ácidos del vinagre y del jugo de limón inhiben la enzima.

La cebolla contiene ácido fólico, potasio y selenio, al igual que quercetina, flavonoide antioxidante relacionado con la reducción de la presión arterial.

Por su parte, el precursor del ajo es un sulfóxido de cisteína que produce la alicina y otros derivados azufrados, pero no el lacrimógeno de la cebolla. Los sulfuros de metilo y alilo que se generan en el organismo humano por el consumo de ajos llegan al torrente sanguíneo y se expulsan con el sudor y el aliento; son semejantes a los sintetizados por las bacterias bucales a partir de la cisteína y metionina, y responsables de la halitosis (mal aliento). La unión de dos alicinas da origen al ajoene, sustancia a la que se le atribuyen propiedades antimicrobianas, antioxidantes y hasta antitrombogénicas; su capacidad anticoagulante debe considerarse antes de su consumo por personas con ciertos tratamientos médicos. Los ajos pueden adquirir una coloración azul-verdosa por la interacción de sus pigmentos naturales con los mismos compuestos azufrados que producen. Su conservación en aceite debe ir precedida de un largo remojo en vinagre o jugo de limón para inhibir el *Clostridium botulinum*; una vez hecho esto es mejor refrigerar.

Tanto la cebolla como el ajo almacenan su energía en forma de inulina, polímero que se hidroliza en el cocimiento y produce la fructosa responsable del sabor dulce de estos vegetales cocidos y que, además, favorece la reacción de Maillard y la caramelización en el freído con la producción de sabores amargos.

Calabazas

Junto con el maíz, frijol y chile, la calabaza (en náhuatl *ayutli*) integraba la canasta básica de la alimentación prehispánica. Tanto el fruto maduro, como el inmaduro o calabacita, provienen de una planta de rápido crecimiento y de la cual se utiliza prácticamente todo: las flores, las hojas, el fruto y las semillas o pepitas tostadas para el pepián (o pipián). Las flores se recolectan temprano para evitar los insectos que buscan el azúcar de los estigmas; los apretados manojos en los que se comercializa tienen como función no exponer los estigmas a los insectos voladores. En general, la calabaza contiene una alta proporción de agua, 90 a 92%, es rica en fibras y en potasio y es de bajo aporte calórico. Su estructura esponjosa está formada por bolsas de aire intercelulares que absorben mucho aceite en el freído; para reducir esta absorción se puede precocer para colapsar esta porosidad, o bien añadir un poco de sal para que, por efecto osmótico, las bolsas de aire se llenen de agua, en lugar de aceite.

Crucíferas

En esta categoría están el berro, brócoli, col de Bruselas, coliflor, mostaza, nabo, rábano y *wasabi*, cuya principal característica es su contenido de glucosinolatos o tioglucósidos;

éstos son compuestos muy versátiles que tienen funciones tan disímbolas como las siguientes:

a) Son precursores del sabor.
b) Actúan como bociogénicos (goitrogénicos) al inhibir la disponibilidad del yodo en la glándula tiroides.
c) Previenen ciertos tipos de cáncer y se consideran importantes fitoquímicos.
d) Su pungencia irrita la cavidad nasal y causa una sensación de hormigueo.

Su fuerte sabor/aroma lo genera un mecanismo semejante al del ajo y la cebolla; la mirosina, sinigrina y sinalbina son los precursores cuya hidrólisis a cargo de enzimas como la mirosinasa generan isotiocianato de alilo, sulfuros, mercaptanos, trisulfuros y el ácido sulfhídrico (H_2S), típico de los huevos podridos; estos compuestos son tan potentes que se cree que se producen como defensa contra depredadores. La actividad enzimática se reduce con un calentamiento, como ocurre en el escaldado de los vegetales antes de su congelación; además, este paso propicia una mayor retención de vitamina C. Sin embargo, un cocimiento excesivo convierte los aromas característicos en olores desagradables. La enzima del rábano se encuentra en la piel, y su pelado también inhibe la reacción.

El brócoli (o brécol), es la flor de la planta *Brassica oleracea* rica en fibra, sobre todo el tallo, y que aumenta con la maduración; contiene β-caroteno, otros carotenoides, vitaminas C y K, calcio, potasio, selenio, quercetina, antioxidantes y el sulforafano, también encontrado en la coliflor, que previene el cáncer de próstata y está presente en mayor concentración en los brotes tiernos. Un excesivo calentamiento destruye la mirosinasa responsable de la producción del sulforafano, pero no el precursor que al llegar al intestino es atacado por las bacterias y liberan el agente activo.

Chiles

El término proviene del náhuatl *chilli* y se aplica al fruto de las plantas herbáceas *Capsicum annuum* y *C. frutescens*, como el de árbol, cascabel, guajillo, jalapeño, mulato, pasilla y piquín, caracterizados por su capsaicina, responsable de la pungencia o picor. Algunos chiles reciben más de un nombre según su estado: el jalapeño, que es el más popular en la cocina mexicana, se conoce como cuaresmeño, o chilpotle (o chipotle) una vez maduro, seco y ahumado; la chilaca es el chile pasilla, llamado así porque al deshidratarse se arruga como una pasa de uva; al poblano también se le conoce como ancho cuando se seca.

Cuando Cristóbal Colón experimentó la pungencia, relacionó los chiles con la pimienta que buscaba y los designó como "pimientones"; actualmente estos últimos son los chiles con baja concentración de capsaicina y se consumen más como verdura que como condimento. La deshidratación de los pimientones rojos, no picantes, da origen al pimentón, como la páprika; este término, de origen húngaro, se refiere a un producto que concentra sus carotenoides en más de 1% y que se usa como pigmento natural.

Los chiles contienen casi tres veces más vitamina C que los cítricos (cuadro 3.1), además de que son ricos en hierro, tiamina, riboflavina y niacina y bajos en sodio. Su

ácido ascórbico aumenta con la maduración, por lo que en los rojos está en una mayor proporción que en los verdes; su contribución a la recomendación de 60 mg diarios de esta vitamina para un adulto puede ser cubierta con 60 g de chiles jalapeños frescos, que para muchos seguramente resulta demasiado consumo de picor.

Sus pectinas se hidratan en la cocción y se esponjan y sus colores van del verde de la clorofila hasta el naranja y rojo de los carotenoides, según el estado de madurez. Su nota verde del aroma se debe a la isobutil metoxipirazina, que se encuentra en forma de microgotas de aceite distribuidas en el tejido y que también se ha identificado en vinos blancos.

El chile es ampliamente usado en la cocina mexicana, en algunos casos para cubrir olores y sabores de los alimentos en descomposición, igual que se hacía en la Edad Media con las especias. Se consume de muy diversas formas, como en el mole (del náhuatl *molli*) y en las salsas, término que proviene del latín y que significa "salada", en alusión a la sal aplicada en la conservación de alimentos.

Jitomates y tomatillos

El jitomate (*Lycopersicum esculentum*) deriva su nombre del náhuatl: *xitli,* ombligo, y *tomatl,* fruto; originalmente consumido por los aztecas, fue introducido en Europa como planta de ornato. Se ha usado con diversos propósitos, incluida una salsa como medicamento hace poco más de 100 años. En el centro y sur del país se le conoce como jitomate, mientras que en el norte recibe el nombre de tomate; es de los primeros cultivos transgénicos comerciales que se desarrollaron para resistir plagas y climas extremos.

Biológicamente, el jitomate es una fruta roja con poco azúcar, aun cuando la tradición lo clasifica como verdura; debido a que es un producto de clima tropical, las bajas temperaturas lo dañan en estado inmaduro. Su piel es de celulosa mientras que el interior de pectinas e, igual que con los chícharos, el calcio, ya sea añadido o el de las aguas duras, fortalece su textura. Debido a la diferente expansión y contracción térmica entre la celulosa y las pectinas, su pelado se facilita al calentarlo a ebullición por 2 a 3 minutos, seguido del inmediato enfriamiento.

Contiene 92 a 93% de agua y 2.5-2.7% de azúcares que lo convierten en un producto de baja densidad calórica; sus ácidos cítrico, málico, oxálico y tartárico son responsables de su bajo pH y de su agresividad con los utensilios de aluminio. En fresco tiene de 15 a 20 mg de vitamina C por 100 g, pero el calentamiento la destruye; su sabor se debe a diversos compuestos, destacando el 0.3% de ácido glutámico que semeja el GMS y el furaneol, que es algo dulce y que también se encuentra en fresas y piña.

La clorofila lo pigmenta cuando inmaduro, pero desaparece con la sazón para dar paso al licopeno rojo, cuya biodisponibilidad es mayor en el jitomate sometido a un tratamiento térmico, sea hervido o como puré, pasta o *catsup;* sin embargo, un calentamiento excesivo, como el freído, destruye el licopeno y se generan compuestos que recuerdan a las violetas, tal como sucede en las zanahorias con su β-caroteno.

El llamado *jitomate bola* es para consumo directo, mientras que el *saladet*, por su mayor concentración de sólidos, se emplea para la producción industrial de purés y pastas;

para esto, el jitomate escaldado se pica y tamiza para obtener un jugo que se concentra en evaporadores al vacío hasta conseguir 8 a 10% de sólidos para purés y 30 a 32% para pastas; dependiendo de los grados Brix de los jitomates, del rendimiento de la evaporación, etc., se requiere de 2 a 3 kg o bien 20 a 25 piezas para hacer un kilogramo de puré, y de 6.5 a 7.5 kg para generar 1 kg de pasta. La *catsup* es una mezcla de agua, puré, pasta, azúcar, espesantes y condimentos; existen diversas versiones sobre el origen de este término, pero parece que proviene de *ketsiap,* una salsa china picante de pescado en escabeche.

Es costumbre cosecharlo verde para su fácil transportación y distribución; la maduración comercial se acelera en cámaras con etileno; en el hogar se guardan en bolsas junto con frutas productoras de etileno o se envuelven con periódico, igual que el aguacate.

Por su parte, el tomatillo (*Physalis ixocarpa*), también conocido en el centro y sur como tomate de cáscara o sencillamente tomate verde, es originario de México (*ixocarpa* significa "fruta pegajosa"), no es un jitomate inmaduro o verde. Contiene una cascarilla u hollejo protector rígido y mantiene el color verde incluso maduro. Se consume cocido y no crudo; cada 100 g proporcionan sólo 23 kcal y es una buena fuente de fibra y de niacina.

Nopales

El nopal (*Opuntia ficus indica* o *Nopalea cochenillifera*), conocido como *nopalli* o *nochtli* por los aztecas, es una cactácea tan difundida en México que forma parte de los símbolos nacionales y del nombre de Tenochtitlan (*tetl*, piedra, *nochtli*, nopal, *titlan* lugar). Se consumían sus pencas asadas al fuego o cocidas en hornos bajo tierra, junto con sus tunas rojas, verdes y moradas (xoconostles). Igual que otros cactus, presenta una fotosíntesis muy particular en la que mantiene cerrados sus poros durante el día para conservar el agua y los abre de noche para absorber la mayor cantidad posible de bióxido de carbono.

Se conocen más de 300 especies y las comestibles se caracterizan por sus altos contenidos de agua, 90%; fibra 3.5%; potasio 315 mg/100, y magnesio 53 mg/100 g, así como por su bajo sodio, 4 mg/100 g y nula grasa. La fibra es 30% soluble y 70% insoluble a base de celulosa, hemicelulosa, pectinas y lignina. En años recientes se le han adjudicado muchas propiedades curativas; sin embargo, lo único que está plenamente documentado son los beneficios de su fibra. La *baba* que desprenden durante el cocimiento es un reflejo de esta fibra, y para evitarla algunas personas le agregan bicarbonato de sodio, jugo de limón, una cebolla o cáscaras de tomatillo durante este proceso. Su cocción en recipientes de cobre o con un poco de bicarbonato estabiliza el color verde de la clorofila.

Pepinos

Tal como el aguacate y el jitomate, el pepino, *Cucumis sativus* es una fruta, pero se considera verdura por sus escasos azúcares que lo convierten en un producto poco denso en calorías. Contiene 95% de agua y 0.9% de fibra, tanto en la cáscara como en la parte interna, que crea una red altamente hidratada, porosa y turgente; esta porosidad permite

que absorba aromas del refrigerador y la turgencia se pierde con la maduración por una deshidratación natural.

Es muy bajo en sodio (2 mg/100 g) y en grasa (0.1 g/100 g), pero rico en potasio, magnesio, carotenoides, ácido fólico y vitamina C. Su aroma se debe a alcoholes y aldehídos de nueve átomos de carbono, provenientes de la acción de enzimas endógenas sobre ácidos grasos de cadena larga de la membrana celular. También contiene β-sitosterol, fitoquímico antiinflamatorio e hipoglucemiante.

Su sabor amargo se debe a las cucurbitacinas, terpenos que se concentran debajo de la cáscara en su unión con el tallo y que le sirven para ahuyentar insectos. Es común cortar los extremos y frotarlos con el resto del pepino para eliminar el sabor amargo; esta costumbre no tiene fundamento científico y además no funciona. Puesto que las cucurbitacinas son hidrosolubles y la sal extrae agua por ósmosis, para eliminarlas se recomienda pelar los pepinos, cortarlos e introducirlos en agua con sal por algún tiempo; en estas condiciones el agua del pepino, junto con los terpenos, migrarán hacia la salmuera de remojo. Se han desarrollado genéticamente pepinos con menor cantidad de cucurbitacinas.

Tubérculos y raíces

Los tubérculos como papa, malanga, camote, mandioca, yuca y ñame, son la punta de un tallo subterráneo cuya principal característica es su alto contenido de almidón, que producen gracias a una muy efectiva fotosíntesis. Contrario a esto, raíces como la zanahoria y el betabel prácticamente no contienen almidón. Esta diferencia tiene un efecto significativo en su comportamiento durante la cocción y en su densidad calórica.

Las más de 200 variedades de papas (*Solanum tuberosum*) son, junto con los cereales, la fuente de hidratos de carbono más importante para el hombre. Cada una presenta un tipo de gránulo de almidón con una relación de amilosa/amilopectina que determina su óptimo uso; las más densas, con mucha amilosa, son adecuadas para resistir el freído, mientras que las ricas en amilopectina, menos compactas, para el puré o la cocción al vapor. Estas últimas flotan en una solución de 250 g de sal/litro, mientras que las primeras se hunden. Contienen 80% de agua, 16 a 18% de almidón, 2 a 3% de proteína, además de tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, magnesio, hierro y potasio; por su almidón, las papas son de alta densidad energética.

En refrigeración, las amilasas endógenas convierten parcialmente su almidón en glucosa, transformación que se hace reversible a temperatura ambiente. Al freír una papa fría con mucha glucosa se induce su encafecimiento por la reacción de Maillard y la caramelización; antes de freír se debe atemperar el tubérculo hasta por algunos días para integrar los azúcares al almidón. De igual manera, su remojo en sulfito de sodio, con el inconveniente de un sabor residual, evita estas dos reacciones de oscurecimiento no enzimático.

Su color se debe a la luteína y la zeaxantina, además de antocianinas y antoxantinas; estas últimas y su ácido clorogénico reaccionan con el hierro de las ollas de cocción y generan manchas gris-cafés, transformación que se inhibe a pH ácido con vinagre o jugo de limón.

Pueden contener solanina y chaconina, glucoalcaloides amargos de protección contra depredadores, considerados como plaguicidas naturales, aun cuando también son tóxicos para el hombre en altas dosis. Se localizan en los brotes o por debajo de la piel en forma de manchas verdes en una concentración muy variada, pero que en promedio es de 20 mg/100 g; se sintetizan junto con la clorofila por una exposición prolongada a la luz solar, como puede suceder al desenterrar el tubérculo accidentalmente mientras crece, pero también en condiciones frías de almacenamiento o al retardar la maduración. Para evitar problemas, se recomienda un consumo máximo de 5 mg/kg de peso, lo que significa 350 mg para un adulto de 70 kg; con esto como base y para llegar a este límite, se tendrían que consumir 1 750 g o 1.75 kg de papa contaminada. En casos extremos inhiben la colinesterasa y provocan cefaleas y alteraciones gastrointestinales; la cocción de la papa en agua no los destruye, pero sí el freído a 170 °C. Una vez eliminada la mancha verde por un adecuado pelado, el tubérculo puede consumirse. La ingeniería genética está diseñando estos tubérculos sin los alcaloides.

Para el consumo de la papa se requiere la cocción y gelatinización del almidón a través de un fuerte calentamiento, sea en ebullición a presión atmosférica o en olla a presión; en cualquier caso se provoca la lixiviación y pérdida de las vitaminas y minerales hidrosolubles. Para su mejor cocción es mejor partir de agua fría para que la pulpa se cueza uniformemente y no se rompa la cáscara.

De la zanahoria (*Daucus carota*) se extrajo por primera vez el β-caroteno, responsable de su color característico, precursor de la vitamina A y que se encuentra en una concentración de 1 200 μg/g. La alta biodisponibilidad del carotenoide, mucho más que la de los vegetales de hojas, hace que el consumo regular de esta raíz satisfaga las necesidades vitamínicas del hombre; sin embargo, en exceso, el pigmento se acumula en el tejido adiposo y tiñe la piel de amarillo en una condición llamada carotenosis, que desaparece al dejar de consumirlo.

Contiene 6.3% de la benéfica fibra dietética a base de celulosa y de otros polisacáridos; sin embargo, ésta se pierde en 85 a 90% en su jugo debido a que se elimina en el bagazo, quedando sólo un residuo de 0.8%. Su ligero dulzor se debe a 5 o 6% de glucosa, sacarosa y fructosa que se incrementa en el vegetal tierno y de menor tamaño y que resalta en la cocción. Su aroma en fresco proviene de terpenos, pero en el cocimiento se sintetizan compuestos que recuerdan las violetas por la ruptura del β-caroteno, igual que sucede con el licopeno de los jitomates. En presencia de frutas productoras de etileno, por ejemplo plátanos, adquieren un sabor amargo. Sus minerales y vitaminas del grupo B, como el ácido fólico, se encuentran inmediatamente debajo de la piel y se pierden por el pelado o por lixiviación en el intenso cocimiento que requieren.

La zanahoria y el apio, igual que muchos vegetales, se deshidratan en el refrigerador y pierden turgencia, pero se puede recuperar al ponerlos en agua fría; la ósmosis cumple su cometido y el tejido absorbe el líquido, las células se hinchan y vuelven a su estado original. Sin embargo, cuando esto se hace en una salmuera, en lugar de absorber agua, el vegetal la pierde.

Debido a su rígida estructura celulósica, su cocción requiere mucha energía y tiempo; es mejor hacerla a partir de agua fría para asegurar una adecuada transferencia de calor que produzca un vegetal uniforme en color y textura.

La jícama (*Pachirhizus erosus*), del náhuatl *xicama*, pertenece a la familia de las leguminosas cuyo fruto no es comestible pero sí su raíz. De textura crujiente con 87% de agua y 1.9% de fibra. El betabel (*Beta vulgaris*) debe su color a las betalaínas hidrosolubles, su fuerte tejido contiene compuestos fenólicos que refuerzan las paredes celulares y su aroma a tierra se debe a la geosmina, que se encuentra también en los frijoles.

La mandioca (*Manihot esculenta*) o yuca, es un arbusto de cuya raíz se obtiene la tapioca, también llamada casava, cuya composición química es prácticamente puro almidón; se consume en forma directa o en budines y postres semejantes, y también se usa para la fabricación industrial del almidón de tapioca que se emplea como espesante. Debe tenerse cuidado de tratar adecuadamente la mandioca para eliminar de ella la linamarina, un glucósido cianogénico que puede causar problemas si se consume en exceso; su versión transgénica ha reducido considerablemente este agente dañino.

Verduras de hoja

A diferencia de los vegetales compactos como el pepino, la zanahoria o el jitomate, las espinacas y las lechugas tienen un área superficial o expuesta a la intemperie mucho mayor que facilita el desarrollo de microorganismos, la acumulación de plaguicidas y su deshidratación. Por ello, su lavado y desinfección es de mucha importancia, así como las condiciones de almacenamiento adecuadas para evitar la pérdida de agua.

Las espinacas (*Spinacia oleracea*) deben su nombre a que sus frutos maduros no comestibles tienen muchas espinas. Sus hojas contienen 88% de agua y son más conocidas por la popularidad que les dio la caricatura del personaje *Popeye,* cuya historieta exageró la concentración de hierro que poseen, incrementándola hasta en 10 veces más. (En 1937 se descubrió el origen de la falsa idea: un error tipográfico cometido al transcribir los datos de una investigación realizada en 1870 por el científico alemán E. Von Wolf). En realidad, las espinacas contienen 2.7 mg de hierro por 100 g de hojas, una proporción menor si se le compara con los 6.8 mg/100 g del hígado de res. Por otra parte, su ácido oxálico, como el de los betabeles, produce oxalatos de hierro y de calcio cuyos cristales dañan el riñón y por eso estos vegetales no se recomiendan para personas que tengan cálculos renales o biliares. Para evitar su formación se recomienda preparar las espinacas con algún derivado lácteo, como mantequilla o leche, cuyo calcio neutraliza el ácido.

Contienen fenoles antioxidantes, vitaminas A, C y K, potasio, luteína y zeaxantina y su β-caroteno no es tan biodisponible como el de la zanahoria; la luz fluorescente de los anaqueles de los supermercados propicia la síntesis de luteína y de ácido ascórbico. Es una buena fuente de ácido fólico y 100 g aportan 140 μg de los 380 que se recomiendan como consumo diario para un adulto.

En la cocción, sus hojas de deshidratan fácilmente y su volumen se reduce hasta en 75%, se pierden nutrimentos por lixiviación y por las altas temperaturas; se recomienda cocerlas al vapor o con un mínimo de agua y en el tiempo más corto posible. Pueden concentrar nitritos del suelo y de los fertilizantes, mismos que participan en la síntesis de nitrosaminas en el estómago del hombre.

Las lechugas orejona y romana contienen 91 a 92% de agua y 1.5% de fibra a base de celulosa, son de muy bajo contenido calórico, tienen una estructura porosa llena de aire y cubierta por una cera que repele el agua, pero no el aceite de los aderezos. Su aroma, igual que la de otros vegetales de hoja, se relaciona con el hexanol y el hexanal que se producen cuando el tejido se daña mecánicamente, como sucede al morderlos o cortarlos; la ruptura de las células libera las enzimas que actúan en los ácidos grasos de los cloroplastos para generar estos compuestos. Las hojas externas contienen más carotenoides y fibras que las internas, que son más pálidas y suaves. Su almacenamiento junto con frutas productoras de etileno, como los plátanos, les provoca manchas de color marrón.

Los aderezos para ensaladas llevan ácidos cítrico del limón y acético del vinagre, además de aceite. Los primeros activan las glándulas salivales, proporcionan frescura y protegen a otros vegetales como el aguacate, contra el oscurecimiento enzimático. El aceite bien distribuido proporciona untuosidad, pero puede atravesar la cera protectora de la lechuga y provocar la pérdida de su turgencia; por eso, el aceite o los aderezos que lo lleven se deben añadir justo al momento del consumo. La sal y las especias no tienen efecto en la capa cerosa, pero de preferencia se añaden al final para no diluirlas con el agua o el vinagre del aderezo.

Otras verduras

Al igual que la papa, la berenjena (*Solanum melongena*) contiene solanina, cuya concentración aumenta con la maduración; sin embargo, se reduce por lixiviación en agua acidulada con vinagre o jugo de limón y con sal. Es de clima cálido, por lo que es sensible al frío; es mejor almacenarla por arriba de los 13 °C. Las antocianinas son responsables del color morado; su sabor amargo se elimina de la misma forma que con el pepino y la absorción de aceite de la fritura se reduce igual que con la calabaza.

Las aceitunas son el fruto del olivo y pueden ser verdes, moradas o negras, según su estado de madurez: entre más maduras son, más aceite poseen. Son densas en energía: 100 g producen hasta 180 kcal; también son ricas en sodio, por lo que su consumo debe ser controlado en personas con problemas de hipertensión.

Los quelites son hierbas silvestres como la hierba santa, el papaloquelite, los romeritos y las verdolagas.

Frutas

En botánica las frutas son el ovario maduro de una planta silvestre o cultivada que protege a la semilla, como ocurre con el aguacate, almendra, arándano, berenjena, cacao, cereza, ciruela, coco, durazno, fresa, guayaba, higo, jitomate, limón, mamey, mandarina, mango, manzana, melón, membrillo, naranja, papaya, pera, piña, plátano, toronja, uva y zapote. La parte comestible es el endospermo, que tiene como función proporcionar nutrimentos y energía a la semilla. En estado maduro, la naturaleza las diseña con colores, texturas y

sabores atractivos para que los animales las consuman y así distribuyan las semillas para asegurar la multiplicación de la planta.

No hay una sola clasificación de ellas, pero conforme a su patrón de maduración se dividen en *climatéricas* y *no climatéricas;* también se les clasifica, de acuerdo con su temperatura de cultivo, en las de *clima templado* y *clima caliente*. Además, se agrupan como *cítricos:* limón, naranja, mandarina y toronja; *bayas* o *frutas del bosque:* frambuesa, fresa, grosella, mora; *frutas con semillas:* manzana, membrillo, pera, uva; *frutas con hueso:* cereza, ciruela, durazno, etcétera.

La OMS recomienda consumir tres raciones de frutas al día, debido a la enorme variedad de sus fitoquímicos benéficos; algunas de ellas se han designado como súper frutas por su alto contenido de antioxidantes, entre las que resalta el açai, acerola, arándano, goji, granada, guaraná, lichi, mangostán y noni, algunas no cultivadas en México.

Composición química

Tal como sucede con las verduras, la composición química de las frutas está en función de las prácticas culturales y de su madurez; en general, su agua va desde 73% para el plátano hasta 91% de la sandía y son ricas en pectinas y celulosa, excepto el plátano inmaduro por su almidón. Su sabor depende en buena medida de la relación de azúcares/acidez; la primera proviene de la sacarosa, fructosa y glucosa y es medida como grados Brix, mientras que la segunda, de los ácidos cítrico, ascórbico, fumárico y málico. El índice de °Brix/acidez se emplea industrialmente para determinar su calidad sensorial; así, la muy ácida toronja tiene un índice de 3, mientras que la naranja, la manzana y el durazno de 8, 13 y 20, respectivamente.

La concentración de estos azúcares varía con la fruta y en algunos casos predomina la fructosa, como en la cereza y uva, mientras que en otros, la sacarosa como en el dátil, que la contiene hasta en 65%, semejante a las mermeladas. Su bajo porcentaje de proteínas y de grasas no contribuye a la nutrición del hombre, pero sí mucho, junto con los azúcares, a la biosíntesis de los típicos aromas y sabores de cada fruta, como los siguientes: el limoneno y el mentol son característicos de los cítricos; los diversos ésteres (resultado de la reacción de un ácido con un alcohol), como el acetato de alilo de las manzanas, el acetato de hexilo de las peras, el butirato de etilo de las piñas y el acetato de isoamilo del plátano; también muchos derivados fenólicos como el eugenol, el aldehído cinámico y la vainillina.

En general, las frutas son escasas en vitaminas liposolubles, pero contienen carotenos precursores de la vitamina A y son ricas en las del grupo B y en la C. Son muchos los factores que influyen en su composición vitamínica, sobre todo la insolación, u horas de sol que recibe la planta; por ejemplo, los frutos orientados al sur son más ricos en vitaminas que los orientados hacia el norte; y los ubicados en la parte superior son más ricos que los que se encuentran en las faldas o en la parte interior. La pulpa más externa, inmediatamente debajo de la piel, concentra la mayoría de las vitaminas y de otros nutrimentos, razón por la cual no es conveniente pelarlas profundamente. La C es muy sensible aun en refrigeración y se destruye por la luz, el oxígeno, el hierro y el cobre; es decir, desde el

momento de exprimir las naranjas se inicia su oxidación y se incrementa con el tiempo; su degradación también contribuye al oscurecimiento no enzimático, sobre todo en frutas no muy ácidas.

Maduración

La maduración de las frutas es un proceso bioquímico muy complejo que se lleva tanto en la planta antes de la recolección, como en la fruta cosechada y consiste en decenas de reacciones catalizadas por enzimas endógenas —amilasas, celulasas, clorofilasas, lipasas, lipoxigenasas, pectinasas, proteasas, etc.— que actúan sobre grasas, azúcares, proteínas y ácidos orgánicos. El resultado de esta intrincada red de transformaciones son colores, texturas, aromas y sabores atractivos; el almidón da origen a la glucosa y ésta a su vez a la fructosa y sacarosa y al incremento del sabor dulce; los ácidos de la fruta inmadura se consumen para producir energía, con lo que se reduce la acidez y se incrementa la dulzura; los alcaloides tóxicos y los taninos astringentes se transforman; se destruye la clorofila verde y aparecen los carotenoides amarillos y rojos; se hidroliza la celulosa, las pectinas y otras fibras duras para crear una textura suave; se sintetizan aldehídos, cetonas y ésteres responsables del aroma, etcétera.

De acuerdo con su maduración, las frutas se dividen en climatéricas y no climatéricas; sus diferencias se basan en el patrón de respiración y en la generación de etileno: este gas, llamado hormona de la maduración, dispara todas las transformaciones mencionadas.

Las *climatéricas* (aguacate, ciruela, durazno, guayaba, jitomate, mango, manzana, melón, papaya, pera, plátano y sandía) por lo regular se cosechan verdes y así se transportan y comercializan; sin embargo, alcanzan su mejor calidad cuando permanecen en la planta hasta su maduración, aun cuando esto acorta su vida de almacenamiento.

La maduración de las frutas recolectadas verdes se efectúa de manera natural o acelerada, pero siempre con la intervención del etileno. En el primer caso, generan hasta 100 μL/kg-h (0.1 ppm) del gas que autoestimula su respiración y con ello la maduración; ésta se acelera al envolverlas en papel periódico para conservar el etileno o al mantener la fruta verde en una bolsa de papel junto con otra de alta producción del gas, como el plátano maduro. La influencia de una madura sobre una inmadura se observa hasta en la canasta casera de frutas. En la industria se utilizan cámaras de maduración, como las descritas para el aguacate; sin embargo, una concentración mayor del gas debilita la fruta y la hace muy propensa al ataque microbiano.

Estos vegetales son tan sensibles al etileno, que en las tiendas se coloca permanganato de potasio para neutralizarlo porque de lo contrario las muy maduras inducen la maduración de las verdes; incluso los gases de combustión de la gasolina de los vehículos y camiones y del kerosene también propician la transformación por su contenido de etileno.

Por su parte, las *no climatéricas* (calabaza, fresa, limón, naranja, pepino, piña, tuna, uva y las verduras) maduran en la planta gradualmente y son menos sensibles al etileno; una vez cosechadas no se vuelven más dulces, ni mejoran drásticamente, pero sí se suavizan y generan compuestos aromáticos por la acción de sus enzimas endógenas; no

aumentan la velocidad de respiración, y durante su maduración la producción de CO_2 y etileno se mantiene estable y baja.

Con base en estos dos sistemas de maduración, algunas frutas nunca maduran fuera del árbol o planta (cítricos, uvas); otras lo hacen después de cosechadas (aguacates); unas maduran en color, textura y jugosidad, pero no en sabor o dulzura después de cortadas (higos, melones); otras se vuelven más dulces una vez cosechadas (manzanas, mangos, papayas), y finalmente unas maduran de cualquier forma después de cortadas (plátanos).

Frutas de clima templado

Las frutas *de clima templado* (manzana, pera, membrillo, durazno y fresa) no se ven afectadas por el daño por frío, como ocurre con aquellas de *clima caliente;* en consecuencia, pueden almacenarse en refrigeración por más tiempo.

En el caso de la manzana (*Pyrus malus*), el ácido málico es responsable de su acidez pero se pierde con la maduración al utilizarse como fuente de energía; es una fruta rica en fibras, pectinas en la pulpa y celulosa en la cáscara y en flavonoides antioxidantes. Debido a su alta porosidad, casi 25% de su volumen es aire, y su cocción es más rápida que la más compacta pera. Su aroma en fresco proviene de la síntesis de distintos ésteres como el acetato de alilo, y además en su cocción se genera la damascenona por la ruptura de sus carotenoides, que también está presente en la uva, el durazno y las rosas. Emparentada con la manzana está la pera, con una estructura menos porosa, que contiene sorbitol al igual que la ciruela; de ahí que pueda tener un ligero efecto laxante en algunas personas.

El membrillo (*Cydonia oblonga*) aún maduro tiene una textura granulosa, es astringente por sus taninos y, por ser rico en pectinas, se emplea junto con el tejocote para elaborar mermeladas caseras. Contiene leucoantocianidinas incoloras que se transforman en una antocianina rosada con el calentamiento, como ocurre con algunas peras.

Como su nombre científico lo indica, *Prunus persica,* el durazno es originario de Persia y su aroma proviene de diversas lactonas como las que tiene el coco; aunque es una fruta de clima templado, su almacenamiento en estado inmaduro a baja temperatura provoca que las enzimas no actúen en sus protopectinas rígidas (precursores de las pectinas suaves) y que su textura permanezca dura y harinosa.

Las fresas (*Fragaria vesca*) deben cosecharse maduras, son ricas en vitamina C y en antioxidantes, incluidas sus antocianinas, que le confieren color; su aroma se debe a ésteres etílicos y al furaneol también presente en la piña.

La granada (*Punica granatum*) contiene compuestos antioxidantes, antiglucémicos, hipolipidémicos y antivirales; por su alto porcentaje de antioxidantes se considera una súper fruta.

Frutas de clima caliente

Las tunas son autóctonas de México y su nombre científico, *Opuntia ficus-indica,* refleja la percepción de los españoles a su llegada a México, ya que la consideraron como un *higo*

indio. Su cáscara es gruesa, verde por la clorofila o roja por la betalaína y su aroma recuerda al del melón, con el que comparte muchos aldehídos y alcoholes. Son ricas en fibras y, contrariamente a la creencia popular, no provocan estreñimiento; un tipo de *melcocha* se hace con la pasta que resulta de la maceración y calentamiento de las tunas, que al concentrar azúcares se vuelve muy dulce.

En los cítricos se incluye a la naranja (*Citrus sinensis*) cuya etimología parece provenir del sánscrito *naranga,* pero también al limón, la mandarina, la toronja y la lima que se caracterizan por su ácido cítrico, agentes astringentes y amargos y un alto contenido de vitamina C, aun cuando hay otras frutas que la contienen en mayor cantidad (cuadro 3.1). Según la variedad y el grado de maduración, los cítricos están constituidos por 40 a 50% de jugo, 20 a 40% de piel y 20 a 30% de pulpa y semillas. La sazón incrementa el ácido ascórbico, al igual que la relación °Brix/acidez por la síntesis de sacarosa y fructosa y la disminución de ácido cítrico. Su sabor amargo se debe a la limonina y a la naringina (flavonoide) que se encuentran en el albedo en una concentración de 10 a 30 ppm; además, la cáscara contiene otros compuestos fenólicos igualmente amargos que se transfieren al jugo y contribuyen a su sabor. Sus cáscaras, ricas en pectinas y celulosa, tienen fuertes aromas y su color se debe al licopeno, β-caroteno y criptoxantina; su pelado se facilita al sumergirlas en agua caliente, ya que el calor suaviza el agente celular cementante. Se enceran para evitar su deshidratación en el almacenamiento.

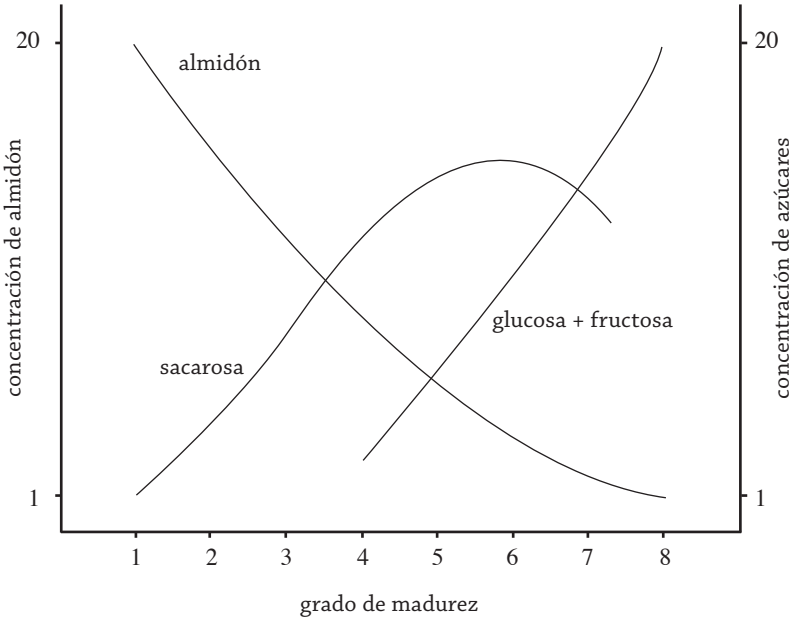
Sus jugos están constituidos por 92 a 94% de agua, azúcares, ácidos y algo de fibras solubles; la mayor parte de la benéfica fibra se retiene en el bagazo que se elimina. Algunos adquieren un sabor más amargo a los 20 o 30 minutos de su extracción, ya que la limonina se sigue produciendo de forma enzimática a partir de precursores no amargos. Para lograr mayores rendimientos de jugo, algunas personas utilizan la previa hidratación de las frutas sumergiéndolas varias horas en agua y esperan que la ósmosis haga su labor para incrementar el contenido de líquidos; de igual manera, al aplicarles una ligera presión antes de la extracción se rompen las vacuolas y se obtiene más jugo.

Los plátanos (*Musa paradisiaca*) son *climatéricos,* al recolectarse verdes contienen mucho almidón y pocos azúcares en una relación de 20:1, pero con la maduración se revierte a 1:20; destaca la glucosa, sacarosa y fructosa (figura 8.7). En estado sazón, es un producto denso en energía, sólo superado por el dátil y contiene potasio y triptófano, componentes que lo hacen muy recomendable para los deportistas. Su aroma se debe al acetato de isoamilo y a otros ésteres; es muy susceptible al oscurecimiento enzimático y a los daños por frío.

La piel del mango contiene una sustancia irritante fenólica que puede ser tan alergénica como algunas nueces; es una fruta climatérica, almacena almidón, puede cosecharse verde y se suaviza y endulza con la maduración. Por sus azúcares es de alto valor calórico, también contiene fibras, β-caroteno, terpenos y, al igual que los duraznos y cocos, su aroma se debe a diversas lactonas.

La maduración de la papaya, fruta climatérica que no almacena almidón, se inicia del centro hacia el exterior y conlleva la síntesis de carotenoides y terpenos y la suavización del tejido. Sus semillas contienen isotiocianatos que generan un aroma a mostaza con la deshidratación, razón por la que se emplean molidas como sazonador. La actividad de su

Figura 8.7 **Conversión del almidón en la maduración del plátano.**



1: verde
2: verde con huellas de amarillo
3: más verde que amarillo
4: más amarillo que verde
5: sólo puntos verdes
6: todo amarillo
7: pequeñas áreas café
8: grandes áreas café

papaína disminuye con la maduración de la fruta; la enzima hidroliza, igual que la bromelina de la piña, la grenetina y no permite su gelificación, mientras que con las caseínas de los postres lácteos produce péptidos amargos.

La piña (*Ananas sativus*) no contiene almidón ni pectinas, no es climatérica y no mejora su sabor una vez recolectada, aunque sí se suaviza. Las manchas negras y cafés de su pulpa se deben a daños por frío, mientras que las translúcidas a la concentración de azúcares. Su sabor es muy complejo: varía a lo largo de la fruta y es a base de ésteres, compuestos azufrados algo pungentes, vainillina y eugenol; su acidez proviene del ácido cítrico. El tepache es una bebida fermentada, a base de piña, que contiene menos de 1% de alcohol; en su elaboración a la piña troceada con cáscara se le añade agua, piloncillo, canela y clavo y se deja reposar por 4 o 5 días; si se deja más tiempo en fermentación el etanol se convierte en ácido acético, que deteriora el sabor.

La sandía (*Citrullus lanatus*), igual que el pepino, pertenece a las cucurbitáceas; es de las frutas más grandes del mundo, con 91% de agua, rica en licopeno, minerales y vitaminas del grupo B. Contiene citrulina, compuesto que interviene en el ciclo de la urea y

que el humano transforma en arginina. Por ser un vasodilatador, a la citrulina se le han adjudicado propiedades semejantes a las del Viagra®, aunque esto no tiene un sólido respaldo científico.

El principal destino de las uvas (*Vitis vinífera*) es para vinos, seguido del consumo directo y de su deshidratación en la elaboración de las *pasitas* o *uva pasas*. Son ricas en fructosa y glucosa, contienen muchos fenoles antioxidantes como el resveratrol, sobre todo en la piel de la morada y en las semillas. De estas últimas se extrae un aceite con ácidos grasos poliinsaturados, altamente cotizado en algunos mercados. Por sus azúcares reductores, durante su secado se presenta la reacción de Maillard, aunque se inhibe parcialmente con la adición de sulfitos o de bióxido de azufre.

El zapote negro (*Diospyros digyna*) es climatérico, productor de mucho etileno. Inmaduro es muy astringente por sus polifenoles y verde-amarillo por sus carotenoides. Con la maduración se reducen los pigmentos y se presenta una fuerte actividad del oscurecimiento enzimático usando los polifenoles como sustrato para dar lugar a su color característico; al mismo tiempo, la oxidación de su vitamina C también contribuye a su pigmentación negra.

La guayaba (*Psidium guajava*) contiene 230 mg de ácido ascórbico por 100 g de fruta, cantidad superior a la de los cítricos y suficiente para llenar los requerimientos de 60 mg de esta vitamina para el adulto (cuadro 3.1). También contiene diversos minerales y otras vitaminas del grupo B pero en menor cantidad; su estructura a base de pectinas, o fibra soluble, provoca un ligero efecto laxante.

El higo (*Ficus carica*) contiene aproximadamente 78% de agua, además de sacarosa, fructosa, diversos ácidos orgánicos, minerales y algunas vitaminas del grupo B; también tiene ficina, llamada cradina, enzima semejante a la papaína, y la bromelina, que le confiere propiedades antiinflamatorias y digestivas.

Hongos

El término champiñón (del francés *champignon)* se refiere a los hongos en general, aunque se utiliza para identificar a la variedad carnosa *Agaricus bisporus;* no tiene capacidad fotosintética, su estructura es de quitina en lugar de celulosa, su sabor se debe en parte al ácido glutámico (GMS) y su aroma al octenol, alcohol producido a partir de ácidos grasos insaturados. Cada 100 g aportan 34 kcal, fibra, niacina, ácido fólico y potasio y de 3 a 4% de proteína. Los recién cortados son blancos, pero de inmediato comienza su "amarillamiento" por el oscurecimiento enzimático, que se evita al bañarlos en una solución de bicarbonato de sodio. A diferencia de estos hongos comestibles y de aspecto semejante, están los muy tóxicos *Amanita* que incluso causan la muerte.

Las trufas (*Tuber magnatum* y *T. melanosporum*) son hongos subterráneos que crecen en simbiosis con árboles estableciendo un intercambio de hidratos de carbono, de fósforo y de otros elementos; debido a que se desarrollan varios centímetros por debajo de la tierra, su localización se hacía tradicionalmente usando el olfato de los cerdos, aunque actualmente se emplean perros.

Leche y productos lácteos

De todos los alimentos, la leche es el único realmente natural; su diseño específico contribuye a la supervivencia de la respectiva cría. En el caso de los humanos, la leche materna fortalece el sistema inmunitario durante los primeros meses de vida, y una vez formado, el infante puede prescindir de ella. Como dato curioso, cabe mencionar que el hombre es de los pocos animales que consume leche de otras especies.

Existen leches de orígenes diversos: oveja, cabra, camella, etc., pero en esta sección sólo se revisan algunos aspectos de la de vaca (*Bos taurus*). Las diversas razas vacunas como *Cebú, Holstein, Ayshire, Suiza, Guernsey* y *Jersey,* la producen con prácticamente los mismos componentes químicos, pero en diferente proporción; la secreción inmediata al parto, llamado calostro, es un líquido de olor fuerte y rico en inmunoglobulinas específicas para proteger al becerro; después de 2 a 3 días y durante 9 a 10 meses del periodo de lactancia, se produce la leche con un rendimiento de 3 litros/día para vacas que pastorean, sin atención médica, hasta 25 litros o más para vacas estabuladas con buenas condiciones de alimentación y de salud. Los antibióticos y las hormonas que el ganadero utiliza para acelerar el crecimiento del animal y la producción de leche, están regulados por las autoridades sanitarias; de cumplirse esta normatividad, la concentración residual en la leche es mínima y no debe afectar al hombre.

Composición de la leche

Además de la influencia de la raza, la composición varía con la salud y la alimentación del animal y la época de ordeña, pero en promedio es de 88% agua y 12% de sólidos constituidos por 3.3% grasa, 3.3% proteínas, 4.8% lactosa y 0.7% minerales y vitaminas; comparativamente con la leche materna contiene más grasa y más saturada, igual que más lactosa, pero menos caseínas (1.25%).

Los sólidos de la leche se encuentran en tres estados coloidales o de dispersión con tres densidades distintas: en el suero, y formando una verdadera *solución,* está la lactosa, vitaminas hidrosolubles y diferentes sales, con una densidad de 1.05 g/mL; como *dispersión coloidal* se encuentran las micelas de caseínas, las proteínas del suero y el fosfato de calcio, con una densidad de 1.114 g/mL, y como *emulsión,* los glóbulos de grasa y otros lípidos, cuya densidad es de 0.94 g/mL. Estos tres estados interactúan de tal forma que integran un sistema fisicoquímico con baja densidad, 1.032 g/mL, y viscosidad, parámetros cercanos a los del agua pura; la naturaleza la diseñó así para hacerla accesible y de rápido aprovechamiento por la cría. Cabe mencionar que alimentos con menos de 12% de sólidos o más agua, tienen estructuras rígidas o muy densas, como las verduras, las frutas, los purés y las gelatinas.

Entre sus principales virtudes está su proteína de alta calidad, así como su calcio, fósforo y vitamina D; estos tres últimos son determinantes para la formación de dientes y huesos en niños y adolescentes y son más efectivos de manera conjunta ya que la vitamina

facilita la absorción del mineral. Su grasa es saturada y se recomienda para los infantes menores de dos años que la requieren para la formación de su cerebro, pero no es tan adecuada para los adultos por los problemas cardiovasculares inherentes.

Es deficiente en hierro y, al igual que los alimentos de origen animal, no contiene fibras. Debido a su inestabilidad, la vitamina C de la leche recién ordeñada se pierde casi en su totalidad al fabricar los distintos derivados lácteos. Las vitaminas del grupo B son hidrosolubles y se asocian con el suero, mientras que las liposolubles A, D, E y K, con los glóbulos de grasa. Contiene poca niacina, pero su triptófano se convierte en la vitamina en el hígado. La riboflavina se fotooxida, sobre todo con luz fluorescente y genera olores a partir de la metionina que recuerdan la col o el huevo cocido; esta reacción se presenta en las botellas de vidrio, pero no en los envases de Tetra Pak, tan comunes hoy en día.

La leche presenta un espectro muy amplio de enzimas, y algunas tienen una gran influencia en la elaboración y maduración de los lácteos fermentados.

Su pH es casi neutro, 6.7, su sabor está muy influenciado por la alimentación del animal, es ligeramente salado por el calcio y el magnesio y algo dulce por la lactosa y con aroma de los ácidos butírico y caproico. Su color se debe a la dispersión total del espectro visible, provocado por los glóbulos de grasa, las micelas de proteínas y el fosfato coloidal; mientras más pequeñas sean estas partículas, mayor será el área de dispersión de la luz y en consecuencia tendrá más blancura. Por esta razón, la leche homogeneizada es más blanca que la cruda que contiene grandes glóbulos que reducen la dispersión lumínica y ocasionan tonalidades azules.

Proteínas de la leche

Éstas se dividen en dos grupos: las caseínas (del latín *caseus*, queso) que incluye cuatro fracciones, α, β, κ y λ (alfa, beta, kappa y lambda); son fosfoglucoproteínas que representan el 80% del total, integran las micelas y sirven como reserva de aminoácidos para la cría, y las proteínas del suero que, como su nombre lo indica, están dispersas en el suero, equivalen al 20% y cumplen funciones biológicas de defensa y enzimáticas. Ambos grupos se separan durante la elaboración de quesos, pero en conjunto tienen gran biodisponibilidad y un buen perfil de aminoácidos que le confieren un alto valor de la Cuenta Química.

Las micelas son partículas microscópicas casi esféricas de 30 a 300 nm, de las que existen 100 billones (10^{14}) por mililitro, con mucho calcio, tienen una carga negativa proveniente de los carboxilos (COO^-) de sus ácidos aspártico y glutámico y se mantienen estables en el seno de la leche mediante dos mecanismos:

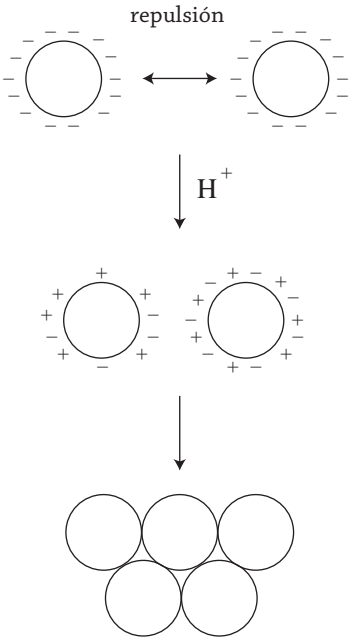
a) Por su permanente repulsión eléctrica debido a su carga negativa.
b) Por un efecto estabilizador innato de la caseína κ sobre las demás.

Estos dos mecanismos hacen que la leche sea sensible a la acidez, pero muy estable a las altas temperaturas y que se comprueba al hervirla sin que ocurra una precipitación como la que sucedería con el huevo o la carne. La congelación también afecta las micelas, igual

que a los glóbulos, y una vez que la leche se descongela precipitan las proteínas y se separa la grasa.

La pérdida de uno o de los dos mecanismos de estabilidad provoca la coagulación de la leche, principio en el que se basa la fabricación de quesos y yogures. La carga negativa se neutraliza con iones hidrógeno (H^+) de ácidos, sea del láctico producido por los lactobacilos fermentativos, o por el acético añadido. Los ácidos reducen el pH y acercan las caseínas a su punto isoeléctrico de 4.6 en donde precipitan (figura 8.8). Por su parte, la función estabilizadora de la caseína κ se pierde cuando es hidrolizada por la renina o cuajo en un sitio muy específico de la molécula de proteína; el cuajo se obtiene del cuarto estómago de becerros y cabritos sin destetar, aunque comercialmente se venden sustitutos microbianos.

Figura 8.8 **Representación esquemática de la precipitación de las caseínas.**



cargas negativas que provocan la repulsión de las micelas

iones hidrógeno de los ácidos acético, cítrico o láctico

micelas sin carga y sin repulsión

precipitación y agregación de las micelas; cuajada para el queso

Las proteínas del suero están constituidas por la β-lactoglobulina, la más abundante, la α-lactoalbúmina y diversas inmunoglobulinas, todas sensibles a las altas temperaturas y menos a la acidez (contrario a las caseínas). A partir de 65 °C inicia su desnaturalización y precipitación, y lleva consigo la producción del ácido sulfhídrico (H_2S) responsable del olor característico de la leche sobrecalentada y el mismo de la col y el huevo cocido. La leche materna no contiene la β-lactoglobulina causante de las alergias de infantes alimentados con leche de vaca. Las proteínas del suero tienen un mejor perfil de aminoácidos que las caseínas, y sin embargo son las que se descartan en la elaboración de quesos.

Grasa de la leche

Por su contenido de ácido butírico, a la grasa de la leche también se le llama grasa butírica; con un punto de fusión de 35 a 36 °C, está formada por triglicéridos con más de 400 ácidos grasos, aun cuando sólo unos cuantos la caracterizan, como los de cadena corta, butírico, caproico y caprílico, y los saturados, mirístico, palmítico y esteárico; su saturación sólo es superada por la grasa de coco. Contiene una reducida cantidad de *trans* que se sintetiza durante la biohidrogenación natural efectuada por la microflora del rumen de la vaca. Todos los triglicéridos se agrupan para integrar pequeñas partículas, o glóbulos, de 2 000 a 6 000 nm de diámetro hasta 200 veces más grandes que las micelas de proteínas, de las que existen 10 mil millones (10^{10}) por mililitro.

La leche cruda sin homogeneizar forma nata debido a dos mecanismos:

1. Al diferencial de densidades entre la grasa y el suero, 0.94 y 1.05 g/mL, respectivamente.
2. A la tendencia natural de las inmunoglobulinas de la membrana de los glóbulos para unirse entre sí y favorecer su aglomeración y ascenso.

La homogeneización y pasteurización evitan el cremado al reducir el tamaño de los glóbulos y con ello la diferencia de densidades, así como al desnaturalizar las inmunoglobulinas y eliminar su tendencia gregaria. Si se necesita nata para preparar una receta, es mejor utilizar la de una leche sin homogeneizar.

La grasa es un factor importante para elaborar diversos derivados lácteos, como la mantequilla y las cremas, pero también para la cajeta, porque es la responsable de la untabilidad y cremosidad de este producto.

Hidratos de carbono

La lactosa es el principal hidrato de carbono de la leche, tiene un dulzor de 35% de la sacarosa y participa activamente en la reacción de Maillard y la caramelización; estas transformaciones se presentan en el ligero amarillo de la leche deshidratada o en el café oscuro de la cajeta. En la leche, la lactosa no cristaliza pero lo hace cuando se incrementa su concentración en la leche evaporada o en los helados; una vez cristalizada provoca la sensación de arenosidad, misma que se evita agregando diversos aditivos.

Causa intolerancia, pero en el mercado existen leches deslactosadas con una concentración máxima de lactosa de 10 g/L; la leche fresca contiene en promedio 4.8% del disacárido, lo que implica una reducción de 80% con el uso de una lactasa microbiana comercial; el producto final puede ser un poco más dulce debido a que la mezcla de glucosa y fructosa, proveniente de la hidrólisis de la lactosa, tiene un poder edulcorante ligeramente mayor que el del disacárido.

Productos lácteos

Por sus nutrimentos, pH casi neutro y alta *Aa,* la leche recién obtenida es sin duda uno de los alimentos más perecederos; aun en buenas condiciones de ordeña y manejo bajo condiciones de refrigeración hasta llegar a la planta procesadora, siempre contendrá una carga de muchos miles de lactobacilos fermentativos por mililitro que, de no reducirse o eliminarse rápidamente, la acidifican. Para esto se emplean los diversos métodos de conservación que más adelante se describen y que dan origen a la amplia gama de productos lácteos disponibles en el mercado.

Una vez en la fábrica, la leche bronca se somete a una estandarización de su contenido de grasa y a su homogeneización. La grasa extra se separa por centrifugación, de tal forma que siempre se tiene el mismo porcentaje de ella en la leche que llega al consumidor; con este procedimiento se obtiene la descremada o *light,* en la que se reduce de 3.3 a 1%. Cabe aclarar que con la eliminación de lípidos también se eliminan las vitaminas liposolubles A y D y que los productos lácteos ricos en grasa las contienen en mayor proporción; por ejemplo, la leche tiene 3 UI de vitamina D/100 g, pero se concentra a 10 en los quesos y a 40 en la mantequilla. En general, la grasa recuperada de la estandarización se utiliza en la fabricación de la mantequilla.

Por su parte, la homogeneización estabiliza la fase grasa y evita el cremado de la leche; consiste en calentarla para disminuir su viscosidad y bombearla a muy alta presión de 150 a 300 bar y una velocidad de 150 a 200 m/seg, a través de una válvula de abertura pequeña hasta que choca con una placa metálica. Este esfuerzo mecánico y la colisión ocasionan la ruptura del glóbulo y la formación de muchos *microglóbulos* de una décima parte del original, que ya no se asocian, no forman nata, dispersan más la luz y tornan la leche más blanca.

Leche pasteurizada, ultrapasteurizada y esterilizada

Originalmente la pasteurización se efectuaba a 62.7 °C/30 min para destruir microorganismos patógenos como *Mycobacterium tuberculosis* o bacilo de Koch, responsable de la tuberculosis, de *Salmonella spp*, de *Brucella spp* y de *Coxiella burnetti*, causante de la fiebre Q. En la actualidad, este tratamiento largo se sustituyó por uno continuo, más efectivo, de alta temperatura-corto tiempo (*high temperature short time, HTST*) a 73 °C por 15 seg; consiste en circular una delgada capa de leche entre dos placas metálicas calentadas externamente con vapor o agua caliente. La notoria reducción de 30 min a 15 seg es posible, ya que la velocidad de destrucción de microorganismos se incrementa exponencialmente con el aumento de la temperatura.

La pasteurización elimina los patógenos y parcialmente la microflora natural de la leche bronca, pero no genera un producto estéril; una leche pasteurizada contiene aún enzimas endógenas y lactobacilos termorresistentes no patógenos que actúan y crecen si las

condiciones de temperatura y tiempo lo permiten. De igual forma, las leches provenientes de vacas con mastitis llevan una carga de *Staphylococcus aureus* y de *Streptococcus pyogenes* que no se destruyen con este tratamiento térmico. La leche pasteurizada debe refrigerarse y también respetar el consumo preferente; de lo contrario, los lactobacilos remanentes se desarrollan, producen ácido láctico, coagulan el producto y generan olores desagradables; aún así, la leche no es tóxica, pero tampoco apetecible.

La ultrapasteurización (*ultra high temperature, UHT*) es un tratamiento más severo que el anterior, que elimina enzimas y casi todos los microorganismos termorresistentes (figura 5.1). Para esto, la leche se calienta de 135 a 140 °C por 2 a 4 segundos en un intercambiador de calor a una alta presión (> 3 000 mm Hg), con lo cual no hierve según el principio termodinámico de mayor presión, mayor punto de ebullición (figura 1.2), para después enfriarla de inmediato. Otra forma es con la uperización, que consiste en mezclar la leche con vapor grado alimenticio; la leche se diluye, pero el exceso de agua se elimina por evaporación al bombear la mezcla a una cámara al vacío; el resultado es una leche con el mismo contenido de agua que la materia prima, pero libre de microorganismos.

Tanto la leche pasteurizada como la ultrapasteurizada se envasan asépticamente en cartón laminado (Tetra Pak) y tienen una vida útil de 8 a 10 días en refrigeración y de 5 a 6 meses a temperatura ambiente, respectivamente. También se usan los envases multicapa a base de polietileno de alta densidad y PET. Si la leche ultrapasteurizada se abre, se debe refrigerar porque los microorganismos del aire la contaminan y con el tiempo la acidifican. Se usan recipientes plásticos multicapa a base de polietileno y PET. Por norma mexicana, ambas leches deben estar adicionadas de vitaminas A y D.

Cuando la leche pasteurizada o ultrapasteurizada se acidifica ligeramente, sin llegar a la coagulación, se vuelve muy sensible al calentamiento; esto se evidencia al adicionarla al café muy caliente ya que produce una nata y hasta un precipitado a base de caseínas. Este cambio es más visible con el té caliente, debido a que sus taninos interactúan con las proteínas y forman los precipitados más fácilmente. Esta reacción proteína-tanino también ocurre con la carne marinada con vino (vea en este capítulo la sección Preparación de las carnes). Para evitar esto es mejor adicionar la bebida caliente a la leche y no al revés. Algo semejante ocurre al calentar una leche acidificada en la cocina; si tiene un pH muy ácido de inmediato precipitará, se pegará al fondo del recipiente y formará puntos negros por la reacción de Maillard; el tradicional consejo de humedecer la olla antes de hervir la leche no funciona en estas condiciones.

A diferencia de las espumas elaboradas con la clara de huevo, las de leche pasteurizada o ultrapasteurizada (sin adificar) son muy débiles e inestables. Por esta razón se deben producir al momento de consumirlas, por ejemplo, en el café; además de ser decorativas, las espumas lácteas son aislantes y mantienen la temperatura de la bebida. La grasa y las proteínas del suero son responsables del espumado y se obtienen mejores resultados con leche fría ya que la grasa sólida refuerza la espuma.

Un tratamiento más drástico que la pasteurización y la ultrapasteurización es la esterilización que se aplica a la leche evaporada enlatada calentándola a 120 °C por varios minutos; se destruyen las células vegetativas y las esporas y permite tener productos con una vida de varios años, a condición de que el envase no sufra daños mecánicos que expongan

su contenido al aire. Para elaborarlos, la leche se concentra de 12 a 26% de sólidos (74% de agua) en un evaporador al vacío (400 a 500 mm Hg), para después enlatar y esterilizar; se induce la reacción de Maillard, responsable de su ligero color amarillo, igual que la generación del ácido sulfhídrico típico del sabor *a cocido*.

La leche condensada azucarada se fabrica a partir de una leche evaporada a la que se le añade 40 a 45% de azúcar hasta llegar a 72 a 74% de sólidos (26 a 28% de agua). Debido a su baja *Aa* no requiere de una esterilización como en el caso anterior y tiene una larga vida útil. Por su elevado contenido de azúcar, su calentamiento en baño María resulta en un dulce semejante a la cajeta.

Al incrementar la intensidad del tratamiento térmico se aumenta la destrucción de vitaminas, sobre todo de las hidrosolubles B_1, B_6, B_{12} y ácido fólico, en una proporción que varía de 10 a 60%. Como se indicó antes, la pérdida de la vitamina C comienza desde el momento de la ordeña y prácticamente es inexistente en los lácteos industrializados.

Productos lácteos fermentados

El principio de esta fermentación es la transformación de la lactosa en ácido láctico por la acción de lactobacilos, sea de los añadidos de forma controlada, de los innatos o los del medio ambiente que contaminan. Cuando se hace de manera regulada se producen quesos y yogures, pero cuando es sin control, como ocurre al dejar la leche afuera del refrigerador por muchas horas, se acidifica, se generan sustancias de olores indeseables y se *echa a perder*. La diferencia es que en el primer caso se adicionan lactobacilos específicos y puros, llamados inóculo, y se establecen las condiciones óptimas para que crezcan ordenadamente; en el segundo, se debe al desarrollo de una microflora muy variada e incontrolable propia de la leche, o bien del aire.

En cualquier caso, el ácido láctico reduce el pH, inhibe los patógenos, aporta los protones (H^+) que neutralizan el sistema de estabilidad de las caseínas y provoca su coagulación y gelificación. Cuando se trata de la fabricación de quesos y otros lácteos fermentados, se consume de 10 a 20% de la lactosa, dependiendo de la acidez alcanzada, y el resto se elimina en el suero, razón por la cual los quesos son adecuados para los intolerantes a este disacárido. Paralelamente al ácido, los lactobacilos sintetizan muchos metabolitos que son responsables del aroma y sabor de los derivados fermentados.

Quesos

Cuenta una leyenda árabe que un hombre atravesó el desierto con su caravana y descubrió que la leche de camella que transportaba en un odre seco hecho del estómago de un borrego se había cuajado y había formado una masa, no así la que llevaba en recipientes de barro. Leyenda o no, es un hecho que los quesos datan de muchos siglos antes de Cristo y que ahora se sabe que en el estómago de los rumiantes existe la renina o cuajo que provoca la coagulación de la leche.

En el mundo existen cientos de variedades de quesos producidos de forma artesanal o industrial, cuya elaboración sigue principios comunes que dependen de factores intrín-

secos de la leche: sea de vaca, cabra, pasteurizada, cruda y con contenidos de proteína y grasa, y de factores extrínsecos relacionados con la fabricación: tipo de inóculo, cuajo, acidez alcanzada, humedad residual, etcétera.

En México se prefieren los quesos suaves con propiedades sensoriales cercanas a la materia prima, como el blanco, fresco, tipo Oaxaca, panela y sierra. A éstos les siguen los que llevan una ligera maduración, entre los que destaca el tipo Manchego (sin relación con el de La Mancha, España) y también conocido como *asadero* en el norte de México, el Chihuahua, el Cotija o queso añejo y los tipos Cheddar, Gouda y Suizo. Los muy madurados originarios de Europa, como el Roquefort, Camembert y Port Salute, se consumen en menor proporción, aunque existe el Cabrales, semejante al Roquefort y el de Ojotzingo, Chiapas, con un procedimiento parecido al Edam holandés.

Además de su sabor y textura, una gran diferencia entre los frescos y los madurados es su rendimiento con la leche; los primeros contienen aproximadamente 60% de agua y, en consecuencia, por litro dan más queso y menos suero, lo contrario a los madurados con 40% de agua. De forma general, se requieren 10 litros de leche para producir un kilogramo de queso madurado, y sólo 7 para el queso fresco. Partiendo de este sencillo cálculo se puede inferir lo que podría costar 1 kg de queso; esto muchas veces no concuerda con el precio con el que se venden algunos quesos frescos en el mercado, lo cual puede indicar que se trata de una adulteración.

Quesos madurados

Su fabricación industrial parte de la leche estandarizada en grasa, homogeneizada, pasteurizada y atemperada de 35 a 37 °C en la tina de fermentación y a la que se le adiciona 1% de un inóculo a base de lactobacilos y estreptococos; la acción microbiana por 30 o 40 min produce suficiente ácido láctico para reducir el pH a aproximadamente 5.5, condiciones en las que no precipitan las caseínas pero se vuelven muy sensibles a la acción del cuajo que es añadido inmediatamente. La temperatura óptima de la renina es de alrededor de 35 °C. También se agrega anato para la coloración amarilla-anaranjada típica de los quesos.

Una vez que el cuajo actúa, toda la leche de la tina se convierte en un gel, como un yogur, cuya consistencia refleja la intensidad de esta transformación; aunque hay instrumentos para medir esta consistencia, por lo general se hace de forma empírica al tocarlo con un dedo: no debe pegarse a la piel y separarse con facilidad. El gel se corta longitudinal y transversalmente con tiras metálicas para formar pequeños cubos que se mantienen calientes y con agitación para deshidratarlos. Al perder agua, los cubos precipitan en forma de una masa elástica semejante al hule, o a los chongos zamoranos, y un suero que se drena y que contiene aproximadamente 4% de lactosa, 0.7% de proteínas, vitaminas del grupo B y un poco de grasa. El siguiente paso es la adición de sal a esta masa elástica e insípida de caseínas y su colocación en moldes perforados que se someten a presión para deshidratarlos y llegar a la humedad requerida que implica una *Aa* que tiene influencia en el crecimiento de los microorganismos de la maduración.

Con el producto fuera del molde, la maduración se efectúa en cámaras con una humedad de 80 a 90% y de 5 a 20 °C durante pocos días hasta varios meses. Implica cambios bioquímicos muy complejos, como la hidrólisis de proteínas y grasas que generan los

ácidos glutámico, butírico y caproico, que además de contribuir al sabor, participan en otras reacciones químicas que dan origen a aldehídos, cetonas y ésteres aromáticos. Estas intrincadas transformaciones las realizan diferentes agentes:

a) Los microbios originales de la leche.
b) Las lipasas y proteasas endógenas, si no están desactivadas por la ultrapasteurización.
c) Los microorganismos, o inóculo, añadidos para producir ácido láctico.
d) La actividad remanente del cuajo.
e) Los microorganismos adicionados para la maduración.
f) La microflora natural del lugar donde se realiza y que se transmite al queso.

Mientras mayor sea el tiempo de *maduración,* más reacciones bioquímicas y más transformaciones en el aroma y la textura se registrarán. Los quesos tipo Manchego y Chihuahua tienen periodos cortos y no presentan los intensos cambios de los muy maduros como el Roquefort, al que se le añade el hongo azul *Penicillium roqueforti,* mientras que al suizo la bacteria *Propionibacterium shermanii* que produce las burbujas de CO_2 responsables de sus típicos *ojos* tersos y también del ácido propiónico del sabor. El Brie y el Camembert son madurados con el hongo blanco *Penicillium camemberti,* cuyas enzimas convierten la cuajada en un producto cremoso y untable y de un olor muy pungente por la fuerte degradación de aminoácidos; esta maduración tan intensa implica reacciones de putrefacción de proteínas, a tal grado que se produce cadaverina, compuesto típico de las heces. Igualmente, a partir de la histidina y la tirosina se sintetiza la histamina y la tiramina en el Cheddar, el Azul y el Suizo, aminas biógenas que en 50 ppm causan el choque histamínico, aumentan la presión arterial y causan dolores de cabeza y erupciones cutáneas en personas sensibles; también se producen en el pescado (vea en este capítulo la sección Deterioro del pescado).

La ultrapasteurización de la leche desactiva las lipasas y proteasas endógenas que contribuyen a la maduración, pero también propicia la reacción entre la β-lactoglobulina con la caseína κ, con lo que se bloquea el sitio específico donde actúa la renina. Como resultado, el cuajo no actúa eficientemente y no todas las caseínas precipitan, se tiene un menor rendimiento de la cuajada, además de que la hace más húmeda y difícil de madurar. Por el contrario, el uso de leche bronca, como en el Cotija o en el Camembert, requiere de 6 a 8 semanas de maduración para asegurar el crecimiento masivo de bacterias benéficas que inhiban el bacilo de la tuberculosis.

A menor contenido de humedad, habrá menos *Aa*, mayor vida de anaquel y será más fácil su conservación; por ejemplo, el Chihuahua con 40 a 42% se mantiene a temperatura ambiente por mucho tiempo, mientras que el fresco con 60% es susceptible de contaminación y necesita refrigeración.

Para una mejor degustación los quesos madurados deben atemperarse, ya que en frío la grasa butírica se solidifica, igual que lo hace la mantequilla, y provoca una textura hulosa; además, a baja temperatura se reduce la volatilidad de sus compuestos aromáticos y no se perciben adecuadamente. También se recomienda que se corten sólo las porciones que se consumirán, para evitar la pérdida de aromas y que no se exponga innecesariamente al aire y a la luz que promueven la rancidez oxidativa y la destrucción del anato.

Para su protección, los quesos pueden tener una cubierta natural que se forma por la deshidratación de la superficie, o bien una artificial a base de ceras sintéticas y pigmentadas.

Otros quesos

Contrario a la complejidad de la fabricación de quesos madurados, la coagulación de los frescos se lleva a cabo por la adición directa de ácidos junto con la renina. La cuajada resultante se moldea y se prensa un poco para llegar a aproximadamente 60% de humedad, y también se produce un suero que se recolecta. Son muy perecederos y su contaminación microbiana se controla con el 2 a 3% de la sal añadida y con la refrigeración. Como no implica una maduración, los quesos frescos deben elaborarse con leche pasteurizada para eliminar el riesgo de la tuberculosis; se adulteran con facilidad con almidón, papas y otros productos amiláceos.

El tipo Americano se fabrica a partir de una mezcla de quesos madurados, caseinatos, leche, grasa butírica, colorantes, conservadores citratos y fosfatos; los dos últimos se usan por su alta capacidad hidratante que le confiere flexibilidad a las caseínas. La mezcla se pasteuriza a aproximadamente 70 °C y se envasa en frascos o en las tradicionales rebanadas individuales. Es un producto susceptible de adulteración con almidones y grasas vegetales.

Durante la elaboración de los quesos se separa el suero, al que se le llama *dulce* al que proviene de la coagulación de la leche con renina, y *ácido* al generado por acidificación directa en los quesos frescos. Los sueros tienen distintas aplicaciones. Su calentamiento provoca la precipitación de las proteínas para formar una masa que después de haberla compactado y salado, da origen al requesón. También se añaden a los piensos, pero con restricciones por su elevado contenido de lactosa. En forma deshidratada por aspersión se emplea como sustituto de leche en polvo y mediante ósmosis inversa se recupera la lactosa y las proteínas que se usan como nutracéuticos; los concentrados de suero se conocen como WPC *(whey protein concentrate*) y los más purificados como WPI (*whey protein isolate*), ambos de alta calidad por su perfil de aminoácidos, sobre todo rico en los azufrados, y por su digestibilidad.

La capacidad para que un queso funda depende de sus contenidos de agua y grasa y del tipo de coagulación empleado: entre menos agua, las proteínas estarán más unidas y requerirán más energía. A 35 °C el queso se vuelve flexible, aparecen pequeñas gotas de grasa en la superficie, pero para que fluya como un líquido viscoso se debe romper la estructura proteínica a más de 55 °C en los suaves y hasta 80 °C en los duros y secos como el Parmesano. Los cuajados con renina integran una estructura flexible de glóbulos de grasa y micelas unidas por calcio que se debilita por el calor y permite el fundido; los frescos cuajados con ácido no crean esta estructura, contienen menos grasa y las altas temperaturas sólo los deshidratan y endurecen, pero no los funden. La adición de alcohol en forma de vino o de *kirsch* en *la fondue* reduce la temperatura de fusión del queso y con ello se evita su sobrecalentamiento que lo deshidrata y endurece.

Leches fermentadas

A la palabra *yogur* se le han adjudicado varios orígenes: del búlgaro *jaurt*, o de un término turco que hace referencia a productos espesos. Además, existen otras leches fermentadas

como el kéfir, búlgaros y jocoque (del náhuatl *xoxoc*, cosa agria) y al igual que los quesos, su fabricación parte de la conversión microbiana de la lactosa en ácido láctico. Cabe mencionar que muchos de los lactobacilos empleados como inóculos se consideran con potencial probiótico, a condición de que se compruebe su efecto en la salud.

En la industria se parte de leche homogeneizada y ajustada a una determinada relación de proteína/grasa por la adición de leche en polvo. Se agrega azúcar, frutas, colorantes, sabores y gomas (pectina, agar o almidón modificado) y se inocula con lactobacilos y estreptococos. La velocidad de producción de ácido láctico, controlada con la temperatura debe ser lenta, ya que si es muy rápida se obtiene una textura granulosa que libera agua por sinéresis del gel formado. El aroma y sabor provienen de compuestos producidos por los microorganismos como el acetaldehído, también característico de las manzanas verdes, el propio ácido láctico y el diacetilo que abunda en la mantequilla. En general, en la fermentación se consume vitamina B_{12}, biotina y ácido pantoténico, pero se produce ácido fólico.

Para el jocoque casero se utiliza una leche tibia, cuya temperatura se mide empíricamente al colocar una gota en la palma de la mano sin que queme, o introduciendo el dedo meñique por unos segundos, lo que equivale a aproximadamente 37 °C. Se adicionan dos o tres cucharadas de jocoque sin sabor (de la producción previa) por litro de leche y se mezcla para homogeneizar el microorganismo; se almacena en un sitio tibio, cercano a la estufa, o envuelto en mantas, y de 10 a 12 horas se obtiene el producto final que debe refrigerarse para detener la fermentación; si no se hace esto, se sigue produciendo ácido, se reduce más el pH, se contrae el coágulo y se expulsa más suero.

Otros productos lácteos

Son muchos los productos que derivan de la leche, por ejemplo cremas, mantequilla, helados, cajeta, chongos zamoranos, etcétera.

La cajeta se fabrica con leche de cabra, aunque también se hace con la de vaca o con una combinación de ambas; la mezcla de leche con azúcar se somete a un intenso calentamiento para inducir la reacción de Maillard y la caramelización, responsables del color, aroma y sabor característicos de este producto; las reacciones se aceleran con la adición de un poco de bicarbonato de sodio. Al parecer, el término *cajeta* deriva de que hace muchos años este dulce se vendía en pequeñas cajas de madera o "cajetas".

Para la elaboración de los chongos zamoranos caseros, la leche se mezcla de forma homogénea con las pastillas de cuajo y se deja reposar a 28 o 30 °C por 2 a 3 horas, que asegure la completa acción de la renina. Se forma un gel que se corta en cubos o triángulos para facilitar su desuerado en su posterior ebullición lenta que elimina agua en forma de vapor y forma la masa típica de este postre.

Otros productos lácteos incluyen la leche deshidratada, las caseínas y los caseinatos que se utilizan ampliamente en la industria alimentaria. Por ejemplo, los sustitutos de leche se fabrican con caseinatos, grasa de coco, vitaminas, minerales y emulsificantes como mono y diglicéridos. Como se indicó, los tratamientos térmicos fuertes y el almace-

namiento de los productos deshidratados por mucho tiempo siempre llevan el riesgo de la reacción de Maillard, y con ello la pérdida de lisina; en el caso de la leche en polvo puede ser de 2 a 3% recién producida, pero de 7 a 8% a los seis meses y de 12 a 13% al año y medio.

Cremas

Las *cremas lácteas* se clasifican de acuerdo con su contenido de grasa, que varía de 12 a 60% y son designadas como *simple, media crema, ácida, para batir, espesa,* etc.; todas provienen de la grasa butírica recuperada de la estandarización de la leche o de la producción de leche descremada. Son emulsiones de aceite en agua que se rompen con un calentamiento y liberan el lípido; su capacidad de espumado depende de su grasa, puesto que es responsable de incorporar las pequeñas burbujas de aire del batido, que son estabilizadas por las proteínas del suero. Las de menor grasa no espuman, las de 35 a 45% son las más adecuadas y las de mayor contenido se emplean para untar. No confundirlas con las *cremas vegetales* elaboradas con una mezcla homogeneizada de aceite de soya parcialmente hidrogenado, espesantes, emulsionantes, colorantes y saborizantes.

Mantequilla

La mantequilla proviene de la crema o grasa butírica, mientras que la margarina, de aceites vegetales hidrogenados e interesterificados; en consecuencia, su perfil de ácidos grasos es diferente: la primera tiene una relación de saturados a insaturados de 2:1, mientras que la margarina, de 1:3. Ambas son emulsiones de agua en aceite conformadas por la fase dispersa, o gotas de agua, que se distribuyen en la fase continua de grasa; las gotas de agua de la mantequilla tienen un diámetro tan pequeño de 5 a 10 μm, lo que restringe el crecimiento microbiano.

Se fabrica con base en la inversión de la emulsión de aceite en agua de la crema a una de agua en aceite; para lograrlo, la crema se agita vigorosamente en equipos apropiados hasta que los glóbulos se rompen y liberan el aceite, que a su vez sirve para aglutinar los propios glóbulos y formar una masa que, después de lavada, se empaca como mantequilla. Contiene aproximadamente 80% de grasa, 16% de agua y 4% de otros componentes que incluyen proteínas, lactosa y sal (2%) cuando se añade; su color se debe a los carotenoides naturales disueltos en la grasa, aunque se pigmenta con anato, cúrcuma o β-caroteno y su aroma proviene principalmente del diacetilo; debido a que concentra la grasa láctea, también concentra las vitaminas liposolubles.

Por su lactosa y proteínas, el calentamiento de la mantequilla propicia la reacción de Maillard, que en algunos casos es benéfica (como cuando se usa para barnizar la carne en el horno); sin embargo, en otros alimentos, como las salsas holandesa y bernesa, resulta indeseable por los pigmentos oscuros y los olores que se generan. En este caso se emplea la mantequilla clarificada que se obtiene al fundirla y separar la espuma junto con la fase acuosa que contiene la lactosa y la proteína que favorecen la reacción de Maillard. La mantequilla clarificada tiene un punto de humeo 50 °C mayor (se incrementa de 130 a 180 °C) que el de la sin clarificar, no se adhiere al sartén ni produce olores indeseables en el calentamiento, es más estable al crecimiento microbiano pero no a la rancidez oxidativa.

Helados

Los helados se fabrican a partir de leches fluida, en polvo o condensada, cremas, grasas vegetales, sacarosa, glucosa, saborizantes, emulsionantes y estabilizantes; el producto final tiene aproximadamente 62% de agua, 17% de hidratos de carbono, 16% de lípidos y 3.5% de proteínas.

Su cremosidad se debe a que la grasa está distribuida de forma homogénea gracias a los emulsionantes y a que no se forman grandes cristales de hielo o de lactosa causantes de la arenosidad en la boca, lo que se evita por la adición de estabilizantes o gomas; la baja temperatura propicia la formación de hielo, mientras que la lactosa se puede cristalizar debido a su alta concentración.

Un buen helado siempre debe contener microcristales imperceptibles, y para favorecerlos se cuenta con la grasa que restringe su contacto e inhibe su tendencia natural para crecer y convertirse en macrocristales; además, tanto los estabilizantes, carragenina, alginatos, CMC y pectinas, como los azúcares, interactúan con el agua por puentes de hidrógeno y previenen su cristalización.

Para su fabricación, la mezcla de ingredientes se pasteuriza, se madura en tanques por algún tiempo y se congela rápidamente para formar microcristales de hielo; al mismo tiempo se le inyecta aire para crear la espuma cremosa que es el helado. A la cantidad de aire añadido se le conoce como rendimiento (del inglés *overrum*) y se dice que es de 100% cuando el volumen del gas adicionado iguala el volumen de la mezcla; mientras menos aire tenga, más sólidos y mejor calidad del helado se producirá, hasta cierto límite, ya que sin aire no sería helado; los de alto *overrum* se derriten fácilmente. Por ello los helados se venden por volumen y no por peso. La sacarosa y la glucosa confieren dulzor, pero también reducen el punto de fusión, lo que provoca que el helado permanezca congelado por más tiempo; cabe indicar que la percepción del dulzor se abate a bajas temperaturas, fenómeno que el fabricante aprovecha para añadir más azúcar.

Desde un punto de vista fisicoquímico, la textura del helado es altamente compleja; es una espuma sólida de glóbulos de aire cubiertos por la grasa emulsificada junto con una red de microcristales de hielo, que a su vez están rodeados de un líquido acuoso en forma de sol. El resultado de todas estas intrincadas relaciones es un producto cremoso y estable al momento de consumirlo, que se sirve mejor cuando se conserva a –14 °C.

Carnes

Tradicionalmente se considera carne a la porción comestible muscular y visceral de animales terrestres, como bovinos o vacunos (toro, vaca, búfalo, cebú), ovinos (oveja y carnero y su cría, cordero), porcinos (cerdo), caprinos (cabra), equinos (caballo) y aves (pollo, gallina, pavo, pato); sin embargo, el pescado también debería incluirse, ya que es igualmente carne. Algunos animales son omnívoros (del latín *omnis*, todo, y *vorus*, que come) y consumen productos tanto de origen animal como vegetal; por ejemplo los cerdos y las aves. Los bovinos, ovinos y caprinos son rumiantes herbívoros que después de la ingesta realizan la rumia, consistente en regurgitar el producto parcialmente digerido y volverlo a masticar

para desbaratarlo y agregarle saliva; su aparato digestivo tiene cuatro cavidades: rumen o panza; retículo; omaso o libro, y abomaso o cuajo (estas estructuras se perciben en un tradicional platillo mexicano conocido como *pancita* o *menudo*).

Las células animales son diferentes a las vegetales, como se muestra en la figura 8.5, y participan en la formación de tres tipos de músculos: *esquelético,* que es estriado y se mueve a voluntad; *liso,* como el de las vísceras, intestinos y estómago, y el *cardiaco.* Cada uno tiene características propias de color, sabor, textura y valor nutrimental, y es adecuado para ciertos guisos. El caso del cerdo es muy especial y, a pesar del riesgo de la cisticercosis, de ser hipercolesterolémico, denso en energía y estar prohibido por algunas religiones, es uno de los animales más consumidos en el mundo. En México se aprovecha todo: la cabeza para el pozole y el queso de puerco; las tripas se embuten con carne picada y sazonada para los chorizos y las longanizas; sus vísceras se consumen en las tradicionales *carnitas;* con la sangre se hace la moronga; el chicharrón se obtiene al hacer incisiones de rombos en la grasa de la piel, luego se cuelga para secarla y finalmente se fríe; la manteca que rodea las vísceras tiene un sabor típico, además de que una vez batida retiene burbujas de aire y esponja los tamales, entre otros usos.

Crianza y sacrificio del animal

El consumidor valora la carne por su suavidad, aroma y jugosidad, características que dependen, además de la preparación, de la crianza y del sacrificio del animal. El ganado de pastoreo se ejercita por el obligado recorrido para conseguir su alimento, actividad física que fortalece y endurece sus músculos por la acumulación del rígido colágeno. La carne que se obtiene en estas condiciones por lo general es más dura que la proveniente del ganado estabulado que no se ejercita y que además cuenta con atención veterinaria permanentemente.

El ganadero busca incrementar la musculatura y reducir la grasa con el menor consumo de alimento; para lograrlo cuenta con el mejoramiento genético, dietas balanceadas y hormonas que aceleran el crecimiento muscular, o anabólicas. Una hormona natural es un compuesto segregado por una glándula endócrina, pero hay sintéticas que se emplean para fortalecerlas. Tal como sucede con la aplicación de plaguicidas en el campo, las hormonas deben administrarse en una máxima concentración permitida y un número de días antes del sacrificio para lograr su eliminación natural. Entre las empleadas están estrógenos como el estradiol y el dietil-estilbestrol, además de la somatostatina y la hormona del crecimiento, cuya concentración en la carne no debe rebasar 0.150 ppm. Sin embargo, un uso indiscriminado aumenta su presencia en la carne, razón por la cual mucha gente tiende a comprar productos orgánicos. Estas hormonas se permiten en México y Estados Unidos pero están prohibidas en Europa. El clembuterol es un anabólico prohibido, pero que muchos ganaderos usan principalmente para la engorda de bovinos.

Por otra parte, la ganadería intensiva —mucho ganado estabulado, bien alimentado y en poco espacio— provoca que las enfermedades se transmitan fácilmente. Para el control de patógenos, parásitos, etc., se les suministran vacunas, antibióticos y otros químicos

como la penicilina, la tetraciclina y la ractopamina. Su aplicación debe seguir el patrón de las hormonas para asegurar su eliminación natural; algunos de estos compuestos también tienen un efecto positivo en el crecimiento muscular del animal. Su inadecuada aplicación, tanto en tiempo como en cantidad, favorece su presencia en la carne, lo que ha puesto en alerta a muchos países; los límites máximos permitidos en el músculo bovino varían, pero oscila de 0.0012 ppm para el zilpaterol a 0.5 ppm de la neomicina. El consumo constante de antibióticos facilita las infecciones bacterianas en el hombre, sobre todo de salmonella y de *Campylobacter*. La presencia de hormonas y antibióticos en los alimentos se considera una contaminación química (vea en el capítulo 4 la sección Contaminación química).

El sacrificio también influye en la calidad de la carne. Un animal tenso, hambriento o muy ejercitado antes del sacrificio agota sus reservas de glucógeno del hígado, y de oxígeno de la mioglobina; en estas condiciones, la carne que se obtiene no contiene ni la glucosa ni el gas necesarios para producir enzimáticamente el ácido láctico que la suaviza de forma natural en el almacenamiento, y el tejido se vuelve oscuro, firme y seco. Contrario a esto, un animal relajado conserva su glucógeno y oxígeno y produce el ácido que, además de favorecer el ablandamiento de la carne, la protege contra patógenos y facilita la acción de otras enzimas que sintetizan compuestos responsables del aroma y sabor. La máxima relajación es la base de la carne Kobe del Japón, para lo cual el animal recibe un trato tan especial que hasta se le masajea la espalda para eliminar el estrés.

Antes del sacrificio, al animal se le aplica una descarga eléctrica que lo hace perder la consciencia. Una vez sacrificado se cuelga de un gancho y la sangre, que representa aproximadamente 8% de su peso, drena y se recolecta, excepto la del corazón y los pulmones. Después de toda la faena y limpieza, los músculos se mantienen relajados y suaves por corto tiempo; sin embargo, poco después aparece el *rigor mortis* que provoca la contracción y endurecimiento de la carne. La canal se debe enfriar de inmediato en cámaras de refrigeración y hasta se emplean riegos con agua muy fría para ayudar al proceso.

El sacrificio ocasiona la pérdida de los sistemas de protección natural y debido a su alta *Aa*, su abundancia de nutrimentos y pH casi neutro, la carne propicia la zoonosis, o enfermedades transmitidas por animales, como las priónicas, víricas, bacterianas, fúngicas y parasitarias. Para evitar estas formas de contaminación, los rastros deben operar en las mejores condiciones de higiene, como lo hacen los que en México están certificados TIF (Tipo Inspección Federal).

Maduración de las carnes

El animal se mueve gracias a la coordinada y continua contracción y relajación de la actina, la miosina y del complejo de ambas, la actomiosina, todo con la energía que provee el ATP. Al cabo de 1 a 3 horas después del sacrificio, el ATP se agota, lo que provoca que la actomiosina contraída no se relaje y da origen al *rigor mortis*. Esta rigidez de las canales disminuye en un lapso de 5 a 20 horas por la acción de las catepsinas, proteasas endóge-

nas que degradan los tejidos muscular y conectivo y que funcionan mejor a pH ácido; por esto, las condiciones del sacrificio son tan importantes para asegurar el ácido láctico que favorece la actividad enzimática de la maduración o ablandamiento natural. Las fibras contraídas de la actomiosina también pierden tenacidad por efecto de la gravedad, al colgar la canal de un gancho.

El ablandamiento o maduración de 2 a 5 °C tiene el inconveniente de que toma varios días, pero la ventaja de que no se presenta contaminación microbiana externa. Este lapso se acorta en cámaras de 20 a 22 °C, siempre provistas de lámparas de luz ultravioleta para eliminar los microorganismos superficiales; sin embargo, la UV propicia la oxidación de las grasas insaturadas y la transformación de la mioglobina. Una vez madurada, la carne de res se comercializa con diversos cortes; los magros contienen menos de 6% de grasa, y los grasos más de 30%; el *bistec* (del inglés *beefsteak*) se refiere a una rebanada de carne delgada o el *filete* (del francés *filet*) al músculo psoas debajo del lomo. Las catepsinas permanecen en la carne, siguen actuando aún en el refrigerador casero y provocan un ligero ablandamiento posterior.

Otra técnica para ablandar la carne, menos empleada, es la inyección de papaína al animal antes del sacrificio para que se distribuya en todo el cuerpo y que actúe en el almacenamiento.

Composición de las carnes

Las carnes se caracterizan por su elevado contenido de grasa y proteínas y mínimos hidratos de carbono; su composición varía de acuerdo con la raza, sexo, edad, alimentación e intensidad de la actividad física (cuadro 8.2). Contiene la vitamina B_{12} que no tienen los vegetales, pero carece de la K y la C. Gracias a la tecnología genética, en los últimos años se crían cerdos y otros animales con 25 a 30% menos de grasa.

Los rumiantes sintetizan sus proteínas con un bajo rendimiento; por ejemplo, necesitan consumir de 10 a 12 kg de pienso para producir sólo uno de proteína, la cual se distribuye en dos fracciones: aproximadamente 60% en los músculos, o porción comestible, y 40% en el rígido tejido conectivo.

Cuadro 8.2 **Composición promedio de diversas carnes (porcentaje).**

	Res	Cerdo	Borrego	Pollo	Pavo	Atún	Mojarra
Agua	71	68	60	66	70	69	79
Proteína	21	13	19	18	21	24	17
Lípidos	7	18	20	15	8	6	3
Minerales	1	1	1	1	1	1	1

Músculo

El músculo está formado por racimos de fibras entrelazadas como cables coaxiales, del diámetro de un cabello humano, tan largas como el propio músculo y que se engrosan con el ejercicio; está formado por miosina y actina, que representan 50% de todas las proteínas, y cuya función es transformar la energía química del ATP en energía mecánica para el movimiento del animal. Su perfil y biodisponibilidad de aminoácidos hacen de la carne un producto de alto valor nutricional, ya que se asemeja a las proteínas que constituyen el organismo humano.

Además de actina y miosina, los músculos contienen la mioglobina roja, proveedora de oxígeno, que es más abundante en las partes duras que demandan más gas para su funcionamiento, sobre todo de animales que se ejercitan mucho. El color de cada carne se debe a su mioglobina; así, la de cerdo y de ternera son ligeramente rosadas por una concentración de menos de 0.1%, mientras que la de cordero es más intensa con 0.2 a 0.4%, y la de res la más roja con hasta 1.0%. De igual forma, los peces de granja y las aves domesticadas son de carne blanca por no ejercitarse para conseguir el alimento, mientras que la del atún y ballena es muy oscura debido a sus recorridos de muchos kilómetros. Como regla general, entre más pigmentada sea la carne, más mioglobina y más hierro contendrá; la biodisponibilidad de este metal es mayor en la carne que en los productos vegetales, como las espinacas.

La mioglobina es una molécula muy reactiva que transforma su color de acuerdo con la disponibilidad de oxígeno (vea en el capítulo 2 la sección Hemoglobina y mioglobina); en consecuencia, la pigmentación de la carne depende de la concentración relativa de mioglobina, oximioglobina y metamioglobina. Cuando un corte fresco se expone al aire se genera la atractiva oximioglobina rojo brillante; sin embargo, si se envuelve en un empaque impermeable al gas, el oxígeno almacenado se consume de forma natural y el color cambia a café por la metamioglobina formada. Las películas permeables al oxígeno ayudan a conservar el color, pero al mismo tiempo favorecen el crecimiento microbiano; en los supermercados se emplean empaques impermeables con atmósfera modificada rica en oxígeno que conservan el color brillante. Por su parte, en la carne envuelta al vacío no hay oxígeno, pero al abrirla se encuentra ante una alta presión de aire que facilita la formación de la oximioglobina, aunque eventualmente se oxida y transforma en metamioglobina. La conversión de la mioglobina en metamioglobina también se produce con la marinación y el calentamiento de la carne, transformación que es irreversible.

Además de estas reacciones con el oxígeno, la mioglobina interactúa con los nitritos y los ascorbatos de las sales de curación (vea en este capítulo la sección Embutidos); en el primer caso produce la estable nitrosomioglobina rosada típica del jamón, que no se modifica ni con el freído, mientras que en el segundo llega a formar la colemioglobina de color verde. Por otra parte, en presencia de sulfitos y por la acción de algunos microorganismos, sintetiza la sulfomioglobina, también verde. A pesar de la desagradable apariencia del color verde, no representa un problema de inocuidad, sino de calidad.

Tejido conectivo

El tejido conectivo está integrado principalmente por tres proteínas, el colágeno, la elastina y la reticulina, pero además contiene dos polisacáridos: el sulfato de condroitina y el ácido hialurónico. Este conjunto de polímeros se encuentra en los huesos, la piel, los cartílagos, los ligamentos, los vasos sanguíneos y los tendones, envuelven y le dan consistencia a los músculos y los unen a los huesos. Cada uno presenta propiedades mecánicas, elásticas y de resistencia a la compresión que permiten la movilidad y flexibilidad de los animales; el colágeno es el principal responsable de la rigidez, mientras que la elastina, como su nombre lo indica, de la elasticidad.

El tejido conectivo se concentra en las partes duras del animal, como las patas y el cuello que son responsables de soportar el peso, del movimiento y de la transmisión de la carga a los huesos; su concentración aumenta con el ejercicio y la edad, ya que entre más viejo sea, más tejido conectivo poseerá por tener más esfuerzo físico acumulado. Los músculos sencillos de la espalda son suaves debido a su poca movilidad.

Al colágeno (del griego *kolla*, pegamento, y *gen*, producción) se le llama tejido blanco, representa casi 25% del total de las proteínas y está integrado por tres cadenas entrelazadas a manera de una sólida cuerda, condición que le permite tolerar mucho esfuerzo físico; su calentamiento a más de 60 °C separa la rígida molécula en proteínas individuales que dan origen a la grenetina. Esto se comprueba al calentar las manitas de cerdo, cuyo líquido de cocción incrementa su viscosidad por el desprendimiento de la grenetina, y que una vez frío, forma un gel. La reticulina y la elastina, llamadas tejido amarillo, se encuentran en los tendones, enlazan los músculos con los huesos, son más resistentes que el colágeno, pero a 90 °C se desnaturalizan y se ablandan.

Grasa

La grasa de los animales, incluso la del hombre, funciona como reserva energética, aislante y amortiguadora de los órganos internos y es el componente más variable de las carnes; su color refleja la alimentación del animal, y así los cereales confieren más blancura, como la de la manteca de cerdo, que los forrajes con mucha fibra. La de res contiene de 40 a 50% de los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico, de 40 a 45% de oleico y el resto de linoleico; la entreverada, distribuida entre las fibras musculares, es responsable del marmoleado y parcialmente del sabor de la carne cocida; las carnes magras no son tan aromáticas, pierden jugosidad y se resecan fácilmente con el cocimiento. Con respecto al colesterol, los cortes sin grasa de cerdo y de res contienen de 60 a 90 mg/100 g, mientras que las vísceras hasta 400 mg; en el pollo se acumula en la piel, y así 100 g de esta ave con piel proporciona 120 mg de colesterol, mientras que sin piel posee sólo 80.

Hueso

El hueso contiene aproximadamente 35% de agua, 17% de grasa, 18% de colágeno y el resto, fosfato de calcio insoluble en agua; el colágeno da rigidez y, en su ausencia, el hueso sería

tan frágil como una cáscara de huevo. Entre más joven sea el animal, el hueso presentará más tejido conectivo en forma de cartílago que fosfato duro y quebradizo. Su calentamiento provoca la liberación de grasa y la disolución del colágeno que incrementa la viscosidad del agua de cocimiento, factores que contribuyen al sabor y a la sensación de lubricación, por eso mucha gente considera que la carne pegada al hueso es más sabrosa.

Preparación de las carnes

A excepción de algunos platillos preparados con carne cruda molida y condimentada, como el *kebe* de la cocina libanesa y la *tártara*, este alimento por lo general se consume cocido. A diferencia del huevo y la leche, que son productos diseñados para la alimentación de las respectivas crías y en consecuencia deben ser fácilmente asimilables, la carne es dura puesto que su función es estructural.

Con el calentamiento de la carne se logran varios objetivos: *a)* el rígido tejido conectivo se convierte en una suave gelatina; *b)* se desnaturalizan las proteínas del músculo y se incrementa la biodisponibilidad de sus aminoácidos; *c)* se generan aromas y sabores apetecibles, y *d)* se destruyen microorganismos, sobre todo los patógenos. Para asegurar totalmente este último objetivo se recomienda que las carnes duras de res con alto colágeno y las compactas pechugas de pollo alcancen 15 seg a 75 °C en el centro geométrico de la pieza, mientras que las de cerdo y la molida, 68 °C y las más suaves y magras como el pescado, 63 °C en el mismo lapso. Estas recomendaciones se contraponen con las preferencias de los consumidores para las carnes poco cocidas y más jugosas.

Por su distinta composición, la conductividad térmica del músculo, del tejido conectivo, de la grasa y del hueso es diferente y, en consecuencia, su comportamiento en la cocción. Esto influye hasta para localizar el termómetro en una pieza grande, por ejemplo, un pavo en el horno; el hueso es el más conductor, seguido del músculo, y al final, la grasa que es aislante. Si el termómetro se ubica en la grasa puede indicar una menor temperatura, contrario a lo que indicará si se coloca pegado al hueso; por eso es mejor ponerlo en un músculo. Por la misma razón, el hueso en un trozo de carne favorece la transmisión de calor y la cocción, además de que contribuye al sabor.

El ablandamiento de la carne previo a su calentamiento se efectúa con enzimas o con la marinación. El agente activo de los ablandadores comerciales es la papaína o la bromelina, no funcionan en carnes frías o a más de 45 °C, y como sólo actúan a unos cuantos milímetros de la superficie dejan duro el interior; la perforación del corte para que penetren las enzimas no es recomendable, ya que a través de esos mismos orificios se acelera la evaporación de agua y la deshidratación de la carne. En algunas recetas se incluye la papaya o la piña frescas, como el jamón Virginia, para aprovechar sus respectivas proteasas ablandadoras.

La marinación se empleaba en la Edad Media como forma de conservación y para proporcionar sabor a la carne. Se usa el vinagre, el jugo de limón, el yogur y el vino, cuyos ácidos acético, cítrico, láctico, etc., tienen efecto en las proteínas del tejido conectivo y en las del músculo. Por un lado facilitan la conversión térmica del colágeno en gelatina, y por otro, desnaturalizan el músculo y con ello provocan la pérdida de parte de su agua y

su consecuente deshidratación y endurecimiento. Estos cambios se acentúan con el tiempo que permanece sumergido el trozo de carne, sobre todo a temperatura ambiente; se debe llegar a un equilibrio que permita la mayor transformación del colágeno, con la mínima deshidratación del músculo. Cabe mencionar que el vino causa una menor pérdida de agua, ya que sus polifenoles o taninos interactúan con las proteínas e integran una red que retiene la humedad en la cocción; este efecto benéfico se opone al que se presenta con la leche y el café calientes (vea en este capítulo la sección Leche pasteurizada, ultrapasteurizada y esterilizada).

Métodos de calentamiento

El calentamiento de la carne puede hacerse con *calor seco:* horneado, rostizado y asado; *calor húmedo:* braseado, cocido y estofado, y *calor con aceite:* salteado y freído.

La grasa de la carne funde entre 35 y 37 °C y por ser lubricante contribuye a la sensación de suavidad, pero dado que es mala conductora del calor, los cortes grasos necesitan más tiempo para su cocción que los magros. A 50 °C inicia la desnaturalización de la miosina y la actina, y con ello su deshidratación que provoca una contracción y enrollamiento de 15 a 20% de las fibras musculares; para cocerla de forma homogénea se hacen pequeños cortes que absorben este encogimiento; entre más deshidratación haya, más endurecimiento tendrá la carne. A 60 °C, la triple hélice del colágeno colapsa, se disuelve en agua y forma gelatina; con más tejido conectivo se requiere mayor temperatura, sobre todo por la elastina y la reticulina. Igual que con la marinación, en el calentamiento se debe llegar a un equilibrio para convertir el colágeno, pero sin ocasionar tanta deshidratación de la miosina y actina que provoque una sequedad desagradable.

De forma paralela a estos cambios, la mioglobina se transforma y adquiere diferentes tonalidades que se relacionan con la intensidad del tratamiento térmico; en cada caso, a la carne se la designa con términos como: *azul,* apenas cocida en el exterior y cruda y caliente por dentro; *roja,* con el exterior café grisáceo pero roja por dentro, para lo cual la temperatura en el centro geométrico es de 52 a 57 °C; *término medio,* el corte está bien cocido por fuera y rosa intenso y a 60 °C al centro; *tres cuartos,* la carne luce rosa tenue y con una temperatura de 65 °C; *bien cocida,* completamente gris-café y una temperatura interna de 70 °C. Estas prácticas no siempre van de la mano con las recomendaciones de cocimiento para asegurar la destrucción de patógenos antes descritas.

La costumbre de relacionar el color con la intensidad del cocimiento no siempre es correcta, ya que la carne cruda puede estar pardeada y tener la apariencia de que está cocida por la metamioglobina, aun cuando no se haya alcanzado la temperatura de destrucción de patógenos; además, el color de algunas carnes se mantiene rosado a pesar de lograr la temperatura requerida, confusión que puede ocasionar un sobrecalentamiento.

Las altas temperaturas de la cocción con calor seco y con aceite propician la reacción de Maillard, en la que participa la ribosa de los ácidos nucleicos, la glucosa y, sobre todo, la lisina. Algunos aminoácidos se degradan y forman compuestos azufrados que contribuyen al aroma de la carne cocida junto con los aldehídos y cetonas provenientes de las grasas.

Existe controversia sobre la eficiencia del sellado exterior de la carne a elevadas temperaturas para conservar la humedad interior de la actina y miosina, y con ello la suavidad; hay quienes apoyan este concepto, pero pruebas de laboratorio demuestran que los microporos no se bloquean y el agua en forma de vapor sigue escapando. Las carnes congeladas por el proceso casero lento pierden mucha agua en el descongelamiento y producen carnes más duras una vez cocidas, comparadas con las congeladas por los rápidos métodos industriales.

Grenetina

Esta proteína proviene de la desnaturalización y desdoblamiento de la triple hélice del colágeno y desde el siglo XVI en Europa se obtenía de la pata de res para elaborar tarrinas y embutidos. Para su fabricación industrial, la piel y huesos de animales se calientan a pH ácidos, de 2 a 3, o alcalinos, de 10 a 12, para deshacer su estructura; el líquido resultante se filtra, desmineraliza, concentra, esteriliza y seca. Cuando el colágeno se calienta en exceso (más de 80 °C), se obtiene un producto amorfo llamado cola que se usa como pegamento.

Esta transformación colágeno-grenetina-gelatina se observa al calentar un trozo de carne rica en tejido conectivo y cuyo enfriamiento produce un gel. Por su naturaleza proteínica, la grenetina está sujeta a su hidrólisis enzimática, por ejemplo con la papaína de la papaya fresca, y también de deterioro microbiológico; es de baja calidad, deficiente en triptófano, pero rica en prolina e hidroxiprolina, aminoácidos que constituyen las queratinas de uñas, cabello y piel.

Embutidos

Hace 3 500 años los babilonios rellenaban intestinos de animales con carnes especiadas, costumbre que continuaron los romanos con las *salsus,* carnes saladas, de donde derivó el término *salsiccia* en italiano. La salchicha es el embutido más común, del que existen varios tipos: *Viena*, *hot dog, cocktail, Frankfurt* y para asar, con una composición semejante pero diferente tamaño y contenido de especias. Para su fabricación, a la pasta de carnes de res, cerdo, pavo, pollo o de pescado se le adiciona grasa, leche en polvo, harina de soya, cereales, sal, especias, hielo y sales de curación que llevan fosfatos para retener agua, eritorbato para acelerar el proceso y nitratos y nitritos para formar la nitrosomioglobina rosada e inhibir el crecimiento de *Clostridium botulinum*. La mezcla es una emulsión muy viscosa a base de pequeñas partículas de grasa cubiertas con proteínas; se embute en una tripa de celulosa o de colágeno y se cuece para desnaturalizar y formar una red de proteínas coaguladas en la que queda atrapada la grasa, el agua y el resto de los ingredientes. Una vez cocida, la tripa se retira y el producto está listo para consumo, con una composición muy variada: 50 a 70% de agua, 6 a 12% de proteínas, 30 a 40% de grasa, 3 a 6% de hidratos de carbono y 0.7 a 1.5% de sal. Por su naturaleza, son productos que fácilmente se adulteran con almidón y féculas de papa.

Otros embutidos son el jamón, el chorizo de carne y grasa de cerdo con ajo, orégano y cebolla, la moronga que se fabrica por la coagulación térmica de la sangre proveniente del sacrificio de animales y el salami, que es un producto fermentado.

Deterioro de las carnes y derivados

Los músculos de un animal sano están libres de agentes deletéreos; sin embargo, con el sacrificio se contaminan con los microbios de su propio sistema digestivo y de la piel, pero además por el operador, los utensilios, el transporte y el almacenamiento. Entre más manipulación reciba, mayor probabilidad de contaminación tendrá; por eso las carnes molidas son especialmente sensibles, ya que transitan por cortadoras, picadoras y molinos, además de las manos de los carniceros. El desarrollo de los microorganismos contaminantes es muy rápido debido a que la carne tiene una *Aa* mayor de 0.90, abundancia de nutrimentos y pH casi neutro (6.5 a 6.8).

Los no patógenos *echan a perder* los cárnicos por diferentes rutas; algunos producen películas gelatinosas grises en la superficie de salchichas y de jamones, que se eliminan con agua caliente; otros transforman la lisina y la arginina en cadaverina y putrescina, de olores desagradables; los lactobacilos y los enterococos convierten la cisteína en ácido sulfhídrico, que además de su olor a huevo podrido reacciona con la mioglobina y forma la sulfomioglobina de color verde; el agriado se debe al ácido láctico que producen los lactobacilos que crecen debajo de la tripa de los embutidos. En los cárnicos ahumados, ricos en grasa y sal y bajos en *Aa,* sólo crecen los hongos *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*; en general no representan un problema de salud y se eliminan con una adecuada limpieza.

De todos los patógenos, el más peligroso es *Clostridium botulinum,* que puede desarrollarse en latas de cárnicos o en carnes frescas envasadas al vacío y producir una intoxicación grave e incluso la muerte. También la carne mal manejada puede ser transmisora de ciertas enfermedades como la salmonelosis, la triquinosis, la listeriosis, la encefalopatía bovina y la gripe aviar; incluso puede estar presente la cepa 0157:H7 de *Escherichia coli,* que produce diarrea grave y daño renal (vea en el capítulo 4 la sección Enfermedades transmitidas por alimentos).

En términos de reacciones químicas, los cárnicos son sensibles a la rancidez oxidativa por su contenido de grasa; por otra parte, los cambios de color mencionados que ocurren en la mioglobina por el oxígeno del aire y por la presencia de grupos sulfhidrilo, pueden confundirse con una contaminación microbiana.

Peces y otros productos del mar

La producción mundial de alimentos acuícolas se ha incrementado en los últimos años gracias a la explotación de los litorales de cada país, pero también aprovechando ríos, lagos y piscifactorías. En conjunto, estas fuentes proveen una gran variedad de productos, entre ellos:

- *Peces*. Entre los que destacan: atún, bagre, blanco, bonito, carpa, huachinango, lenguado, mero, mojarra, robalo, salmón, sardina, sierra y trucha.
- *Crustáceos*. Como: camarón, cangrejo y langosta.
- *Moluscos*. Entre ellos: almeja, calamar, mejillón, ostión y pulpo.

Composición química

Como los peces flotan y se desplazan con las corrientes de agua, no tienen que vencer la gravedad como ocurre con los animales terrestres; por tanto, no requieren del duro tejido conectivo que proporciona soporte físico. Los peces contienen bajo glucógeno, aunque en el camarón se encuentra en mayor proporción y lo hace un poco dulce por la presencia de glucosa. De acuerdo con la cantidad de grasa almacenada debajo de la piel como reserva energética, se clasifican en blancos, semiblancos o rosados y azules; los primeros son magros, con menos de 2.5% como el bacalao (0.2%), huachinango, lenguado, mero y robalo; los rosados son semigrasos, por ejemplo pez dorado, mientras que los azules contienen hasta 10% de grasa y son de carne oscura y fuerte sabor, como el atún, arenque, bonito, boquerón y sardina. Los peces más grasosos resisten mejor la congelación ya que además de que contienen menos agua la grasa confiere una textura elástica que se mantiene inalterada con las bajas temperaturas.

Los ácidos grasos de los animales terrestres son saturados y sólo se vuelven líquidos con el calentamiento, mientras que los de los peces son insaturados para poder permanecer líquidos en las condiciones frías de su hábitat, que puede ser 0 °C o menos. Como regla general, entre más baja sea la temperatura del agua, mayor será la insaturación y más omega-3 y 6 tendrá, incluidos los EPA, DPA y DHA. Además de los beneficios nutrimentales que aportan, los ácidos insaturados también contribuyen al sabor y por eso los peces de mar de aguas gélidas son más aromáticos que los de estanques y lagos, pero también más susceptibles a la rancidez oxidativa. Su contenido de colesterol varía, pero en general es menor a 100 mg /100 g, aunque el camarón presenta hasta 150 mg/100 g.

Su proteína va de 10 a 25%, es de alta calidad y biodisponibilidad, con buen aporte de lisina y triptófano, aminoácidos indispensables escasos en los cereales; el atún presenta el mayor porcentaje de este nutrimento. Los músculos están integrados por manojos de fibras cortas, delgadas y contráctiles, unidas por una delicada membrana que se deshace fácilmente con el calor; el tejido es tan sensible que se corta con un mínimo esfuerzo y hasta puede consumirse crudo. El colágeno se encuentra en baja proporción y se convierte fácilmente en gelatina con el calentamiento.

Contiene vitaminas A, D, E y B_{12}, hierro, selenio, yodo, fósforo y magnesio; los que se consumen con todo y espinas, por ejemplo sardinas, son una buena fuente de calcio.

La alta salinidad del mar (3% de sal o 30 g/L) ejerce una fuerte presión osmótica sobre los tejidos de los peces y mariscos; para compensarla y poder subsistir en este medio sin deshidratarse por el efecto osmótico, estos habitantes acumulan de forma natural sustancias de bajo peso molecular, mismas que provienen de la actividad enzimática sobre las proteínas. Por su importancia destacan diversos aminoácidos, urea, aminas y óxido de

trimetilamina (TMA), que en conjunto contrarrestan el efecto de la sal del agua de mar. Un pez de agua dulce que no tiene esta elevada cantidad de sustancias puede deshidratarse y morir al cambiarlo a agua salada.

Además de este efecto benéfico, estos compuestos confieren un fuerte aroma y sabor semejante al umami por la presencia de ácido glutámico; por esta razón, los peces de ríos o de agua dulce que no tienen este mecanismo de supervivencia tienen un aroma más suave. En cualquier caso, el inosinato de sodio, proveniente del ATP muscular, contribuye al sabor del pescado recién capturado, pero desaparece con el almacenamiento.

El color rosado de la trucha, igual que el de los flamingos, se debe al consumo de pequeños crustáceos que a su vez se alimentan de algas con los carotenoides astaxantina y cantaxantina. La sangre de las agallas (órganos de respiración localizados atrás de los ojos), absorbe oxígeno del agua y la mioglobina se vuelve roja brillante; sin embargo, una vez capturado el pez, y en ausencia del gas, el pigmento se oxida y se vuelve gris-café. El camarón crudo es de color gris-verdoso debido a su crustacianina, que el calor transforma en la astaxantina rosada típica del producto cocido.

El caparazón de los crustáceos tiene como base la quitina, mientras que los moluscos hacen sus conchas con el carbonato de calcio que toman del mar; el mismo del mármol o de la cáscara del huevo.

Deterioro del pescado

El pez recién capturado en agua no contaminada tiene olor a mar, aspecto brillante, escamas adheridas, carne consistente y firme que después de presionarla vuelve a su posición original, ojos saltones y agallas rosadas, características que el consumidor busca como señal de frescura. Sin embargo, el pez siempre lleva sus enzimas endógenas activas y una carga microbiana en la piel, agallas y vísceras que pueden proliferar debido a su alta *Aa,* abundancia de nutrimentos y pH casi neutro.

El pescado experimenta varios cambios que lo alteran: *a) rigor mortis*; *b)* autólisis; *c)* contaminación microbiana, y *d)* rancidez oxidativa; algunos de estos cambios ocurren en muy corto tiempo, razón por la que una vez capturado debe eviscerarse de inmediato y refrigerarse o congelarse.

Después de la muerte, los músculos se mantienen relajados y elásticos por algunas horas, para después contraerse en el *rigor mortis* que dura de 1 a 2 días y que en algunas especies es tan fuerte que al desaparecer se desgaja el tejido; el sistema de defensa deja de funcionar, se detienen los suministros de sangre y de oxígeno, no se forma ATP y se produce la contracción actina-miosina. Al agotar el glucógeno, como lo hace el salmón que sufre muchas sacudidas antes de su captura, no se produce ácido láctico y el tejido se endurece aún más en el *rigor mortis*.

La autólisis (del griego *auto*, propio, *lisis*, ruptura) consiste en el ablandamiento del tejido por la acción de las enzimas endógenas que rompen las proteínas musculares. De forma paralela a esta acción, microorganismos como *Pseudomonas* psicrófilas del sistema digestivo atraviesan la pared intestinal hasta llegar al músculo, donde se desarrollan. Estos

cambios producen sustancias muy olorosas que reflejan el grado de frescura del pescado; por su importancia resalta la TMA y el amoniaco: la primera proviene del óxido de TMA que acumulan los peces de agua de mar, y en menor proporción los de agua dulce, mientras que la segunda se forma a partir de la urea y también de la TMA. Una concentración de 50 a 150 ppm de TMA o de amoniaco es indicación de crecimiento microbiano; este último se percibe fácilmente a través del olfato.

El lavado superficial del pescado elimina la TMA externa, mientras que la interna se neutraliza con los ácidos del vinagre o del jugo de limón de la marinada; el ión hidrógeno H^+ del ácido reacciona con el amino, —NH_2, de la TMA y lo convierte en amonio, —NH_3^+, lo que reduce su volatilidad y en consecuencia su capacidad para llegar a la nariz. Este principio también se aplica al lavarse los dedos con agua adicionada de una rodaja de limón después de manipular el pescado.

Además de los microorganismos de las vísceras, también se desarrollan los externos de la piel y las agallas, así como los provenientes de las manos sucias del operador o de los utensilios utilizados.

Sea que provengan del interior o del exterior del pescado, los microbios descarboxilan la histidina y la tirosina y producen histamina y tiramina, aminas biógenas que con sólo 50 ppm causan el choque histamínico en gente sensible; actúan en el aparato cardiovascular y en las glándulas endócrinas y su efecto se presenta de unos cuantos minutos hasta tres horas después con náuseas, comezón, vómito y cefalea. La histamina proviene de la acción de bacterias gramnegativas como *Morganella morganii* y *Enterobacter aerogenes,* naturales de las agallas; una vez formada, no se elimina con ningún tratamiento. Cabe agregar que estas aminas biógenas también se encuentran en productos fermentados, como quesos (vea en este capítulo la sección Quesos madurados), embutidos, cervezas y vinos.

La última transformación que experimenta un pescado es la rancidez oxidativa, sobre todo en aquellos de aguas frías con grasas muy insaturadas ricas en omegas y altas de su índice de yodo.

Infecciones e intoxicaciones con productos del mar

La ingesta de productos del mar puede provocar problemas de salud en el hombre y se engloban en la llamada ictiotoxicidad (del griego *ikhthys*, pescado), cuyo origen es diverso. De inicio, la microflora natural del pez puede ser la causante y por eso la ingesta de pescado crudo siempre lleva consigo un riesgo; la presencia de histamina y tiramina resulta muy peligrosa para un sector de la población; los peces contienen mercurio cuando crecen en aguas contaminadas por la industria química; algunos llevan la potente tetradotoxina, cuyo consumo causa la muerte por paro respiratorio en poco tiempo; las larvas del parásito *anisakis* inducen fuertes reacciones alérgicas al consumir pescado fresco, aun tratado con vinagre o jugo de limón.

Para su alimentación, los moluscos filtran el agua de mar y al hacer esto concentran en su tejido a salmonellas y virus como el de la hepatitis; sólo el cocimiento elimina estos peligrosos contaminantes biológicos.

Los peces, almejas, ostiones y mejillones pueden consumir dinoflagelados, algas productoras de toxinas que se reproducen de mayo a junio en el Caribe y en zonas tórridas; debido a su coloración, en una concentración de 20 000 células/mL producen la llamada *marea roja*. En el hombre, estas toxinas provocan desde un ligero cosquilleo en los labios hasta la muerte por paro respiratorio en menos de 12 horas al bloquear el flujo de sodio y los impulsos nerviosos; el tóxico es estable al calor y la cocción no lo destruye en su totalidad.

Conservación y preparación

Debido a sus características, los productos del mar alteran su calidad fácilmente por los mecanismos antes descritos; se refrigeran para su conservación, aunque cuando la temperatura requerida varía con el tipo de pescado. Las enzimas endógenas del pez de agua muy fría trabajan por debajo de los 0 °C, y la refrigeración no detiene su actividad; algunas especies requieren hasta de –30 °C para desactivar por completo su sistema enzimático y poder conservarlas por más tiempo. Contrario a esto, los peces de climas tropicales, o de aguas más templadas, no necesitan de tan bajas temperaturas y la refrigeración estándar de 4 a 6 °C es suficiente.

Igual que sucede con todos los alimentos, el enlatado permite conservar los productos de mar hasta por varios años; también se utiliza el ahumado, salado y deshidratado, como en el caso del bacalao y los charales, aunque están sujetos a reacciones de oxidación de sus grasas insaturadas.

Para la preparación culinaria de los pescados se utilizan métodos que permiten consumirlos crudos o cocidos. La marinación con vinagre y jugo de limón conlleva la desnaturalización de sus proteínas y la pérdida de translucidez del tejido, pero no la destrucción de los patógenos; el ceviche y otros platillos orientales a base de pescado crudo siempre tienen un riesgo para la salud.

La destrucción de los patógenos se asegura con el calentamiento, que también propicia otros cambios: el poco colágeno se convierte en gelatina; las proteínas se desnaturalizan y deshidratan y el tejido se endurece, se opaca y pierde translucidez; se forman hojuelas de proteína deshidratadas que son fácilmente separadas con el tenedor; se volatilizan algunos aromas naturales. A mayor temperatura se genera mucho vapor, cuya presión interna rompe la delicada estructura muscular, además de que se acelera la deshidratación y se cuece el exterior antes que el interior.

Con el cocimiento al vapor se alcanza un máximo de 100 °C, mientras que con la fritura 160 °C o más; a mayor temperatura más fácil será la reacción de Maillard y otras transformaciones que implican ácidos grasos insaturados, aminoácidos y el inosinato de sodio, todos contribuyentes al sabor.

El surimi es un gel cohesivo hecho de proteínas de pescado que retiene una alta proporción de agua, sobre todo si proviene de animales recién capturados; para su elaboración, los pequeños trozos del pescado se lavan repetidas veces para eliminar color, sabor, aroma y grasa y se mezclan con proteínas de soya, clara de huevo, sorbitol, fosfatos, especias, sal, almidón, gomas, ascorbato de sodio, colores y sabores para formar una

pasta. A partir de ésta, y mediante extrusión, se producen imitaciones de cangrejo, langosta, camarón, angulas, etcétera.

Huevo

El huevo de gallina (del latín *ovum*) se utiliza desde hace muchos siglos, aunque en el México antiguo se consumían los de guajolote y pato. Es un alimento diseñado por la naturaleza para sustentar la vida del embrión y por eso es completo y de muy fácil digestión y alta biodisponibilidad.

Al año, la gallina deposita en promedio 250 huevos no fecundados para consumo humano; cada uno es de 60 a 65 g o 3% del peso del ave, lo que significa que en su vida activa produce hasta ocho veces su peso medido en huevos. Igual que con la crianza de cerdos, en la moderna industria avícola se utiliza la selección genética, dietas balanceadas, programas preventivos de enfermedades y condiciones higiénicas de confinamiento; con base en esto se tienen gallinas más ponedoras o huevos ricos en omega-3, bajos en colesterol, de cáscara pigmentada, etcétera.

El tiempo transcurrido entre la puesta y el consumo del huevo es importante y así, el denominado *fresco* es aquel que se utiliza en menos de 28 días, mientras que el *extra fresco,* en menos de nueve días. Su frescura se mide de forma empírica al ponerlo en una solución de 100 g de sal por litro de agua: los más frescos se hunden, los viejos, flotan; otra forma es extendiéndolo en un plato plano y observar una capa inferior de la clara y otra más espesa rodeando la yema, además de que esta última debe estar definida; un huevo viejo tiene la yema casi plana, las capas de la clara se pierden y es adecuado para huevos revueltos, ya que los estrellados no se producirán.

Estructura y composición del huevo

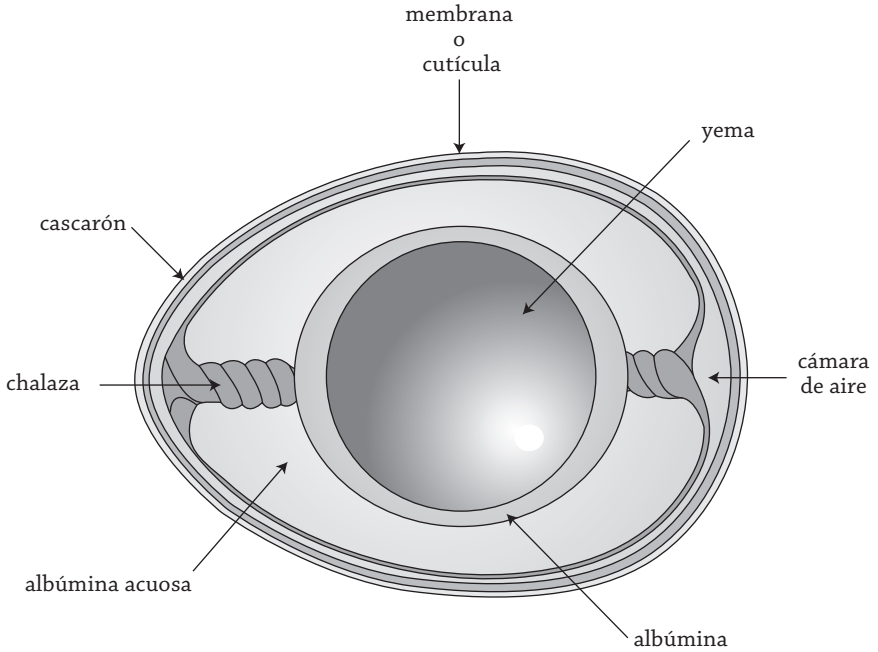
Un huevo está integrado por tres fracciones: *cáscara*, *yema* y *clara*.

Cuadro 8.3 **Composición promedio del huevo sin cáscara.**

Componente	Huevo entero	Yema (%)	Clara (%)
Agua	74.0	50.0	87.8
Proteínas	12.9	16.0	10.9
Hidratos de carbono	0.4	0.6	0.2
Lípidos	11.5	30.6	0.2
Minerales	0.7	2.0	0.3

La *cáscara,* que representa 12% del peso del huevo, está hecha a base de carbonatos y fosfatos de calcio y magnesio, que se depositan en una red proteínica formando una membrana o cutícula con 10 000 a 30 000 microporos a través de los cuales se facilita el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono y que la naturaleza diseñó para que el embrión respire. Esta misma porosidad propicia la entrada de olores extraños, como los del refrigerador, pero también la salida de aproximadamente 4 mg de humedad/día (dependiendo de la temperatura), lo que causa su deshidratación con el tiempo. La membrana también actúa como filtro contra microorganismos, pero se pierde con el paso de los días, especialmente cuando el huevo se lava; por eso los huevos lavados deben refrigerarse.

Figura 8.9 **Estructura del huevo.**



La cáscara contiene mucho calcio en una forma química que no es biodisponible para los humanos, aunque algunos animales lo aprovechan. Su grosor disminuye con el incremento del tamaño del huevo y su color lo determina la cantidad de la hemoglobina depositada en las dos últimas horas de la formación del huevo; los blancos se relacionan con mayor higiene, mientras que los pardos, con naturalidad, aun cuando no hay diferencia en el valor nutrimental.

La principal característica de la *yema* es su 30% de lípidos, que representa el 11% del peso del huevo entero. Están constituidos por 67% de triglicéridos, 28% de fosfolípidos y 5% de colesterol; sus ácidos grasos omega-3 y 6 se incrementan al alimentar la gallina con pienso rico en aceites muy insaturados; la lecitina (del griego *lekigos*, yema de huevo) es

el principal fosfolípido, y el colesterol equivale a 215 mg por huevo. La yema se fija en el centro gracias a las chalazas, que son dos cordones blanquecinos. Contiene varias vitaminas, como el retinol, pero no la C, además de hierro y algo de proteínas que utiliza el embrión para su desarrollo.

El color amarillo de la yema proviene de la luteína, capsaxantina y zeaxantina del maíz y de la *flor de muerto* o sus extractos que se adicionan al alimento avícola; puede presentar pequeñas manchas de sangre del sistema reproductivo y que aparecen antes de que se forme la cáscara. Los huevos con doble yema se originan por una doble ovulación de gallinas jóvenes.

La *clara* o *albúmina* contiene mucha agua, es rica en proteínas, escasa en grasa y con algo de glucosa. Sus proteínas están conformadas por 10 fracciones, de las que destaca la ovoalbúmina que representa 55% del total y actúa como alergeno para ciertas personas; la ovotransferrina o conalbúmina (12%); el ovomucoide (11%), y la lisozima (3.5%), que es una enzima que funciona como un antimicrobiano natural. Una de sus fracciones, la avidina, forma un complejo con la biotina y evita la absorción de la vitamina en el organismo humano; sin embargo, el calentamiento desbarata el complejo y resuelve este inconveniente. Las proteínas son globulares y muy sensibles a la desnaturalización térmica que las coagula y forma geles irreversibles, pero también a la desnaturalización por batido, como sucede al producir una espuma. Por su perfil de aminoácidos y biodisponibilidad, la clara se toma como referencia o patrón para medir la calidad de otras proteínas; en conjunto, un huevo de 65 g proporciona de 8 a 9 g de proteína.

Una vez puesto el huevo, la clara y la yema se enfrían y se contraen, lo que provoca la formación de una cámara de aire en la parte más ancha, de aproximadamente 3 mm entre ellas y la cáscara. Por otra parte, el CO_2 presente se disuelve en el agua de la clara y de la yema y les reduce el pH por la formación de ácido carbónico ($CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$); sin embargo, con el tiempo el gas se pierde a través de los microporos y el pH se incrementa de 6.0 a 6.6 para la yema y de 7.7 a 8.2 para la clara. Esta ligera alcalinización hace que la albúmina se vuelva más fluida y pierda agua, lo que provoca un incremento del tamaño de la cámara y que los huevos viejos floten en una salmuera. Cabe mencionar que el aumento de la cámara facilita el pelado de los huevos cocidos.

Preparación del huevo

Con algunas excepciones, el huevo se consume por lo general después de un tratamiento térmico que cumple varias funciones:

a) Destruye el principal patógeno, salmonela.
b) Mejora la biodisponibilidad de las proteínas.
c) Genera aromas, sabores y texturas apetecibles.
d) Libera la biotina por la desactivación de la avidina.

Las proteínas de la clara representan el componente más termosensible del huevo. Cada una de sus fracciones tiene una cinética de desnaturalización térmica y así, a 55 °C se inicia

el cambio de un líquido transparente y viscoso a un gel opaco; la conalbúmina se desnaturaliza a 60 °C, mientras que la ovoalbúmina a 84 °C. Una vez coaguladas las proteínas, al incrementar la temperatura se induce su deshidratación y se provoca la interacción entre ellas y la formación de la textura hulosa del huevo cocido.

Las temperaturas de desnaturalización aumentan en presencia de azúcar y de leche, ya que evitan el contacto entre proteínas, como ocurre en la preparación de algunos postres; por su parte, la sal y los ácidos la reducen. La pequeña porción de proteínas de la yema se modifica a 65 °C y se espesa y deja de fluir a 70 °C.

Para cocer un huevo es mejor utilizar agua fría para homogenizar su temperatura a lo largo de todo el proceso de calentamiento. Al incrementar la temperatura, el aire de la cámara se expande y ejerce una presión interna que al ser mayor que la externa del agua y la atmosférica, provoca la ruptura de la cáscara; este diferencial de presión se podría compensar con una gran columna de agua sobre el huevo, situación que en la práctica no es posible. Existen varias recomendaciones para evitar la ruptura:

a) Hacer un pequeño orificio en la parte ancha de la cáscara, sin romper la membrana, para liberar el aire caliente.
b) Calentar muy lentamente y evitar el choque térmico que ocurre al colocar huevos fríos en agua hirviendo.
c) Añadir sal, jugo de limón o vinagre al agua para coagular la albúmina que pudiera desprenderse y así sellar el poro; el ácido que logra penetrar la cáscara también facilita el pelado del huevo cocido.

Esta última recomendación se aplica en los huevos escalfados, ya que el agua de 85 a 90 °C contiene vinagre y sal que provocan la inmediata desnaturalización de la clara sin darle tiempo de repartirse en toda la superficie. La elaboración de un huevo cocido implica cocerlo en agua por 10 minutos a punto de hervor (alrededor de 90 °C).

Para el huevo tibio poco coagulado, se debe iniciar con agua fría y cocer por tres minutos a partir de que hierva el agua; para un huevo de clara cuajada y yema líquida, llamado huevo *mollet* o mullido, se necesitan cuatro minutos a ebullición. En el caso del huevo pasado por agua, la clara entra en contacto con el líquido y puede disolverse un poco; para evitar esto se agrega un poco de vinagre o limón.

El huevo cocido o duro genera un anillo verde-grisáceo no tóxico de sulfuro ferroso (FeS) entre la yema y la clara a partir de la metionina y cisteína; a altas temperaturas, estos aminoácidos azufrados producen ácido sulfhídrico (H_2S), que a su vez reacciona con el Fe de la yema y produce el FeS. Las temperaturas moderadas y tiempos largos de cocción, igual que con los huevos frescos, previenen esta formación, mientras que por ser alcalinos, los huevos viejos la favorecen. El H_2S es también responsable del típico olor a huevo cocido y el que se encuentra superficialmente se elimina con agua fría.

Además, los grupos sulfhidrilo (-SH) de estos aminoácidos forman enlaces disulfuro (—S—S—), a semejanza de los del gluten, para crear la red sólida del huevo duro; al interactuar las proteínas entre sí se produce su deshidratación parcial y endurecimiento para generar una textura hulosa en la clara y granulosa en la yema. Una vez cocido, el huevo se debe enfriar de inmediato por dos razones: para eliminar el efecto del calor acumulado en

el interior y que sigue provocando su deshidratación, y para la contracción de la clara y la yema que se separan de la cáscara y con ello se facilita el pelado.

En el huevo estrellado o frito, la albúmina se desnaturaliza rápidamente con el aceite caliente y forma un gel esponjoso por la presión del vapor de agua generado en el interior que separa las capas de proteína; de los 30 g de albúmina, 27 g son agua y generan muchos litros de vapor. Por esta razón, para hacer huevos revueltos muy esponjados se adiciona un poco de agua o leche. Cuando hay una sobrecocción, en el huevo frito aparecen bordes secos y oscuros por la deshidratación y las reacciones de Maillard y de caramelización.

En el aroma del huevo cocinado se han identificado más de 200 compuestos, de los que destaca el H_2S proveniente de la albúmina y algunas otras sustancias con sabor a mantequilla, generadas a partir de la yema. La alimentación de la gallina tiene un enorme efecto en el aroma y sabor del huevo.

Usos y propiedades funcionales del huevo

El huevo en su conjunto, o la clara y la yema en lo individual, tienen propiedades funcionales de espumante, emulsificante, espesante y estabilizante que se aprovechan en la elaboración de helados, mayonesas, yogures, panes, pasteles, merengues y otros alimentos. El huevo es tan versátil que hasta se utilizó en la Edad Media en la técnica de pintura llamada *temple al huevo,* aprovechando la capacidad de la clara para aglutinar los pigmentos y el disolvente; de hecho, parece que los dulces elaborados en los monasterios de Puebla se desarrollaron para aprovechar el excedente de yema.

Actualmente se dispone de huevo pasteurizado, desglucosado, deshidratado y también de la clara y la yema en distintas presentaciones comerciales. La pasteurización elimina el patógeno más viable de crecer en productos avícolas, salmonela, y se efectúa de 60 a 70 °C por 70 a 90 seg; para la clara, por ser muy termosensible, las condiciones son más leves que para la yema o el huevo entero. La eliminación de la glucosa se realiza por la acción de la glucosa oxidasa microbiana que convierte el monosacárido en ácido glucónico; con esto se evita la reacción de Maillard que interfiere con la capacidad de espumado y con otras propiedades funcionales. La yema congelada lleva de 5 a 10% de sal para evitar su gelificación y gomosidad a baja temperatura y es usada para las mayonesas industriales.

Espumas

Una de las principales características de la albúmina es la formación de espumas con el batido; en esta acción mecánica, las proteínas se desnaturalizan y los aminoácidos hidrófobos se orientan hacia el interior de la burbuja para estar en contacto con el aire, mientras que los hidrófilos lo hacen al exterior con la fase acuosa (vea en el capítulo 2 la sección Espumas). Es decir, las proteínas se comportan como agentes amfifílicos que unen dos fases inmiscibles, igual que lo hacen con las emulsiones. En la integración de la espuma, cada fracción de la albúmina cumple una función: la ovoalbúmina y la lisozima incorporan gran cantidad de aire y dan volumen, la ovomucina incrementa la viscosidad del medio

acuoso y proporciona estabilidad, y la ovotransferrina forma una lamela resistente que estabiliza la espuma.

La clara contaminada con yema no forma buena espuma, ya que la grasa interactúa con la parte hidrofóbica de las proteínas y evita la formación de burbujas estables; los detergentes y los residuos de grasa de los recipientes de la cocina tienen el mismo efecto. Por eso es importante separar limpiamente la clara de la yema, para ello la refrigeración ayuda; el frío incrementa la viscosidad de la clara y la tensión superficial de la membrana que la aísla de la yema y así se desprende más fácilmente. Sin embargo, el máximo espumado se logra a temperatura ambiente cuando la clara presenta una menor tensión superficial, que le permite mayor incorporación de aire.

Como regla general, la estabilidad de la espuma aumenta con la disminución del tamaño de la burbuja; para lograr esto se recomienda primero batir a baja velocidad para crear una estructura firme a base de microburbujas y después incrementar la velocidad para incorporar burbujas más grandes.

La albúmina desnaturalizada, sea por calor, ácidos o sal, pierde su capacidad de espumado. La adición de azúcar al inicio del batido aumenta la viscosidad de la fase acuosa continua, reduce el drenado y la evaporación de agua y con ello genera una espuma más firme. De igual forma, el crémor tártaro la estabiliza por la neutralización parcial de las cargas positivas de las proteínas. El uso de utensilios de cobre también favorece las espumas, ya que el metal reacciona con los sulfhidrílos (—SH) de las proteínas y evita la formación de puentes disulfuro (—S—S—) entre moléculas vecinas que reducen su capacidad amfifílica para incorporar aire; el aluminio también ayuda, pero induce tonalidades grises.

Una vez formada, la cocción de la espuma en el horno a 180 °C o más provoca la completa desnaturalización y deshidratación de las proteínas y la integración de estructuras sólidas como las de los merengues; parece que este término proviene del pueblo suizo Mieringen, donde vivía un famoso pastelero. Para que la espuma se vuelva sólida en el suflé (del francés *soufflé*, soplado) se requiere una rápida desnaturalización térmica pero controlada; si la temperatura es muy alta, el suflé se quema en el exterior y se mantiene crudo en el interior, y si es muy baja, no se expande adecuadamente por falta de vapor.

Emulsiones

Así como las proteínas de la clara espuman, la lecitina y la proteína levitina de la yema emulsifican (vea en el capítulo 2 la sección Emulsiones). La lecitina es un agente amfifílico y en consecuencia emulsionante, cuya concentración disminuye con el tiempo y por eso los huevos viejos no estabilizan bien las mayonesas ni otras emulsiones de aceite en agua.

El origen del término *mayonesa* no es del todo claro, pero la teoría más sólida asevera que proviene de Mahón, en Menorca, España, puerto invadido en 1756 por los franceses que volvieron a su país llevando la receta; otros sostienen que proviene de *jaune,* que significa "yema" o "amarillo" en francés. El producto industrial se elabora con aproximadamente 70% de aceite y 8% de yema congelada, además de vinagre, agua, sal y harina de mostaza; esta última crea una película estabilizante alrededor de la emulsión. La lecitina representa

sólo un poco más del 2% de la fórmula (8% de yema con 28% de lecitina) pero estabiliza una gran cantidad de aceite; la yema enzimáticamente modificada, con un mayor poder de emulsificación, se obtiene por la transformación de la lecitina en lisolecitina mediante la acción de una fosfolipasa.

Para elaborar la mayonesa casera se debe verter muy lentamente el aceite sobre la mezcla bien batida de vinagre, limón, yema y mostaza, de tal forma que la yema siempre cubra las gotas de aceite para evitar su unión; es decir, la velocidad de adición del aceite debe ser menor a la capacidad de dispersión y emulsificación de la yema.

Deterioro del huevo

Recién depositados, los huevos de aves sanas son estériles, mientras que los de aves enfermas pueden estar contaminados con salmonela que se encuentra en los ductos de salida. Por la posibilidad de que este patógeno u otro, como estafilococo áureo, penetre en su selección industrial se emplea un escáner que detecta quebraduras, manchas de sangre en la yema y otros defectos.

Para su protección, el huevo posee la cáscara, pero también la lisozima, enzima de la clara que destruye las paredes celulares de las bacterias intrusas; sin embargo, salmonellas y pseudomonas vencen estas dos barreras y se desarrollan en el interior. La mejor prevención es la inmediata refrigeración a menos de 6 °C y su cocimiento para poder consumirlo. Las pseudomonas crecen en el exterior de las cáscaras húmedas a temperatura ambiente y con el tiempo la penetran; su desarrollo interno genera las llamadas podredumbres que conllevan una coloración verde, negra, rosada o roja, aunque también crecen sin producir pigmentos.

De preferencia, la mayonesa industrial se elabora con huevo pasteurizado para evitar el problema de la salmonelosis; algunas preparaciones caseras o de restaurante, como la ensalada César, utilizan un huevo tibio con un minuto de cocción.

Otros alimentos

Debido a su actual importancia y a la que tuvieron en el pasado, a continuación se describen algunos aspectos de los insectos, la miel, el cuitlacoche y el cacao.

Insectos

A la práctica de comer libélulas, escarabajos, termitas, chapulines, hormigas, orugas y otros insectos en forma de huevos, larvas, pupas, ninfas o adultos, se le designa como *entomofagia* o *antropoentomofagia* y era muy común entre los antiguos aztecas, en Egipto, Asia y el resto de América. En México existen aproximadamente 200 especies, entre los que destacan los siguientes: chapulines o grillos; gusanos de maguey, que son las larvas de la mariposa que

crecen en tallos y hojas de esta planta; escamoles (del náhuatl *azcatl*, hormiga, y *molli*, salsa o guiso) muy cotizados desde la época prehispánica y llamados caviar mexicano, son las larvas de la hormiga *Liometopum apiculatum* que anida alrededor del maguey, las nopaleras y el sabino y se recolectan de febrero a abril, y los jumiles o chinches de campo.

Su contenido de proteína puede ser hasta de 60%, mayor que el de la carne; su grasa es de 10 a 50% y la mayoría contiene vitaminas del grupo B, fósforo, potasio y calcio, pero no colesterol. Por lo general, su cubierta es a base de quitina, polisacárido no metabolizable. Se considera su producción masiva como una opción alimenticia para los 9 000 millones de habitantes que se estima poblarán el planeta en el 2050, ya que transforman su alimento de forma mucho más eficiente que los animales terrestres; para producir 1 kg de carne de res se requieren de 12 a 13 kg de forraje, en contraste con los 1.5 a 2 kg para los insectos.

Miel

Por definición, la miel es el producto natural elaborado por las abejas; cada insecto produce aproximadamente 5 g al año a partir del néctar que succiona de flores y otras partes de las plantas mientras baten sus cuatro alas 200 veces por segundo. Su composición general es 18% de agua, 36% de fructosa, 35% de glucosa, 4% de sacarosa y minerales; la mezcla de fructosa y glucosa, o azúcar invertido, proviene de la actividad de la invertasa salival de los insectos sobre la sacarosa. Con menos de 15% de humedad se convierte en una solución sobresaturada que cristaliza en una masa difícil de manejar, aunque funde de 60 a 65 °C; por otra parte, con más de 20% se fermenta por el crecimiento de levaduras. Debido a que es higroscópica, debe almacenarse en envases bien cerrados y en zonas secas. Su contenido de hidroximetilfurfural (HMF) se usa como parámetro de calidad, ya que se genera por la descomposición natural de azúcares con un mecanismo semejante a la reacción de Maillard; las mieles con hasta seis meses de edad contienen menos de 40 mg de HMF/kg.

La jalea real es la sustancia que segregan las glándulas de abejas obreras jóvenes, mezclada con secreciones estomacales y sirve de alimento a las larvas durante los primeros tres días de su vida, y también para alimentar a la abeja reina. Contiene 60% de agua, azúcares, proteínas, lípidos, vitaminas del grupo B y otras sustancias que fortalecen a los insectos. Se le adjudican muchos efectos benéficos, como la cura de afecciones gastrointestinales.

Para proteger el panal contra infecciones microbianas, algunos apicultores indebidamente añaden antibióticos como estreptomicina al alimento de los insectos; estos compuestos, a su vez, se transmiten a la miel y llegan al consumidor como una contaminación intencional o adulteración (vea en el capítulo 4 la sección Contaminación intencional o adulteración).

Cuitlacoche

El cuitlacoche (del náhuatl *cuitlatl,* excremento, y *cochi,* dormir), también llamado huitlacoche o trufa mexicana, es el hongo *Ustilago maydis* de masa esponjosa que crece en tiempo de lluvias (de julio a septiembre) como plaga o parásito adherido a los granos de la mazorca

tierna de maíz. De sabor dulce-ahumado, contiene glucosa, sotolón y vainillina como agentes activos del sabor. Se induce al raspar las hojas de la mazorca para favorecer el contacto de las esporas del hongo con los granos; a las 2 o 3 semanas de ser infectada, la mazorca se corta temprano, antes de que la temperatura aumente para evitar el desprendimiento del hongo y su deshidratación parcial.

Cacao y chocolate

El nombre científico del cacao, *Theobroma cacao,* refleja su importancia: del griego *theos*, dios, y *broma*, alimento. Los olmecas lo domesticaron, lo llamaban *kakáhua* y sus semillas se empleaban como moneda; en la actualidad, su variedad criollo es de las más cotizadas en el mercado internacional. Contiene de 50 a 55% de grasa y su principal uso es en la fabricación de chocolate (del náhuatl *xocolatl*, bebida espumosa) en sus distintas modalidades. Igual que el café con la cafeína, el cacao contiene teobromina, responsable en parte del sabor amargo.

Como primer paso en la elaboración del chocolate, las semillas de cacao se secan, fermentan y tuestan para propiciar la reacción de Maillard y la caramelización, y con ello los aromas característicos. A partir de estos granos molidos se obtiene la manteca de cacao cuya principal característica es que funde alrededor de 35 °C, justo por debajo de la temperatura corporal de 37 °C; en estas condiciones el chocolate se derrite de inmediato en la boca y se percibe untuoso. Si tuviera un punto de fusión mayor de 37 °C sería granuloso, ya que permanecería sólido en la boca; por el contrario, a una temperatura inferior a 34 °C se fundiría en el almacenamiento o incluso en la mano antes de consumirse.

La manteca se mezcla con azúcar, lecitina, grasa butírica y sólidos de leche; la masa resultante altamente viscosa se somete al conchado y atemperado para propiciar la cristalización de los triglicéridos en la forma más estable, y finalmente se vierte en moldes.

El uso de mantecas muy ácidas tiene limitantes en la repostería, ya que reaccionan fácilmente con los polvos para hornear alcalinos antes de que actúen en la masa de panificación; en este caso se deben usar las mantecas neutras.

Al chocolate se le ha relacionado con el enamoramiento y el placer, por la presencia de diversos compuestos, aunque eso no está totalmente comprobado; destaca la feniletilamina, de la familia de las anfetaminas, con fuerte acción vasodilatadora (por eso al chocolate algunos le llaman el *Viagra* vegetal), también presente en vinos y quesos madurados; contiene teobromina, alcaloide estimulante de la familia de la cafeína que disminuye el abatimiento y mantiene la energía; otras sustancias promueven la producción de endorfinas que causan una sensación de tranquilidad y felicidad.

Su antioxidante epicatequina y varios flavonoides reducen la presión arterial, cuya concentración es mayor en el chocolate oscuro o amargo; es una buena fuente de magnesio. Sin embargo, contra todas estas bondades, es un alimento muy denso en energía por su alta concentración de grasa y azúcar; 100 g aportan aproximadamente 500 kcal.

Con el tiempo, la superficie de algunos chocolates se mancha de blanco-gris por la migración de la grasa o del azúcar interiores en un fenómeno conocido como florecimiento (del inglés *bloom*). Esto se debe a que el chocolate es una dispersión de cristales de azúcar

y cacao estabilizada por la lecitina, pero ocasionalmente puede haber una separación de fases y migración de sus componentes, sobre todo a más de 20 °C. Una vez en la superficie, los cristales de azúcar se disuelven por la humedad ambiental y eventualmente vuelven a cristalizar, pero formando una película gris. Aunque esta condición no tiene ningún peligro para el consumidor, la apariencia es indeseable.

A partir de aceites de soya y de palma se fabrican grasas que tienen un perfil de fusión semejante al de la manteca de cacao, que se usan en la elaboración de sustitutos o imitaciones del chocolate.

Transgénicos

Los organismos genéticamente modificados u OGM (en inglés *genetically modified organism, GMO*) como los transgénicos, son productos cuyos genes se alteran con la introducción de un trozo de ADN de un virus, bacteria, planta o animal, para otorgarles una característica específica del donador que no poseen en forma natural. Con esto, los cultivos se hacen más resistentes a las plagas, a las enfermedades, a las bajas temperaturas y a las sequías, y se acortan sus ciclos de maduración. La modificación genética de granos, verduras y frutas ha ocurrido por siglos en forma natural con los métodos tradicionales de cultivo; sin embargo, a partir de la década de 1990 la ingeniería genética ha propiciado este cambio de forma muy abrupta, poniendo en el mercado semillas genéticamente modificadas de alfalfa, soya, algodón, maíz, jitomate, papa, canola y otras.

Existen desarrollos de trigos que aprovechan mejor el nitrógeno y que resisten la sequía; de arroz y maíz ricos en carotenoides precursores de la vitamina A y enfocados para reducir la ceguera en poblaciones que basan su alimentación en estos cereales; de café con mayor resistencia a los insectos y con menor cantidad de cafeína; de papas inmunes a los ataques de virus e insectos y con un almidón de poca absorción de aceite en el freído; de soya sin proteínas alergénicas, con un mejor perfil de aminoácidos y con hasta 75% de ácido oleico para mejorar la estabilidad de su aceite a la fritura; de uvas sin semilla; de vacas que sintetizan insulina y la segregan en la leche; de papas sin solanina ni chaconina, etcétera.

La transgenicidad proviene de las proteínas, y por esta razón el aceite de soya no es transgénico (aunque las semillas utilizadas sí lo sean), ya que en su refinación se emplean altas temperaturas que destruyen cualquier vestigio de proteína. Su desarrollo ha provocado mucha controversia, ya que mientras algunos consideran que será la solución a la escasez de alimentos prevista para los 9 000 millones de habitantes que se estima poblarán el planeta en 2050, otros piensan que tendrán un fuerte impacto ecológico y que provocarán problemas de salud hasta ahora desconocidos. La mayoría de las alergias son causadas por proteínas (vea en el capítulo 3 la sección Intolerancias y alergias), razón por la que se considera que los OGM generarán algunas que hasta ahora no se conocen.

Igual que sucede con la irradiación de alimentos, los OGM no son aceptados en Europa, pero sí en Estados Unidos; la controversia continúa y seguramente llevará muchos años de investigación antes de entender por completo las bondades y desventajas de esta tecnología. En la literatura actual existen muchos métodos disponibles para la detección de los OGM en los alimentos.

Orgánicos e hidropónicos

Se les llama alimentos orgánicos o ecológicos, y son aquellos en cuya producción no se utilizan insumos sintéticos como fertilizantes, plaguicidas, hormonas, conservadores, anabólicos y antibióticos, ni OGM o aguas contaminadas; sólo se aprovechan recursos renovables y se aplican prácticas que protegen el medio ambiente al optimizar la energía y el agua. Para sustituir esos insumos sintéticos se utilizan diversos materiales naturales. Como fertilizantes se aplican compostas a base de mezclas de compuestos orgánicos en descomposición. El control de plagas se hace introduciendo enemigos naturales de los insectos y de los microorganismos y adicionando diversos agentes con probada función antimicrobiana; así, las catarinas y mantis combaten los insectos indeseables; los concentrados de semillas de cítricos, sobre todo de toronja, contienen limoneno activo contra pulgas, piojos y garrapatas; el eugenol del clavo y el aldehído cinámico de la canela controlan el desarrollo de diversos microorganismos; el aceite de la semilla del neem destruye larvas de mariposa; el extracto de ajo inhibe la mosca blanca; la leche de vaca elimina algunos virus; los concentrados del crisantemo contienen piretrinas semejantes a los piretroides, que son plaguicidas sintéticos; los extractos de cebolla, el barbasco, la ortiga, el tabaco molido y el árbol del paraíso son igualmente activos contra algunos hongos, insectos y otros microorganismos.

De forma orgánica, en México se produce aguacate, ajonjolí, cacao, café, duraznos, especias, huevos, leche, mango, manzana, miel, naranja, nopales, piña, plátano, pollo, vainilla y vino, además de algunos productos procesados como embutidos, jugos, galletas y mermeladas; no llevan conservadores y sus aditivos como almidón, anato, gomas y lecitina, deben ser igualmente orgánicos. Para que la leche forme parte de esta categoría, la vaca no debe recibir hormonas o antibióticos y debe ser alimentada de cultivos orgánicos.

Muchos estudios han mostrado que no hay diferencia en el valor nutricional entre los cultivos tradicionales y los orgánicos; su gran ventaja estriba en que no se utilizan hormonas o plaguicidas que con el continuo consumo pueden afectar la salud de las personas.

Algunos de estos productos ostentan la leyenda "Natural", que se llega a confundir con "orgánico"; los primeros se producen con materias primas que no han sido sometidas a reacciones químicas; por ejemplo, la vitamina C obtenida de la fermentación del sorbitol no se considera *totalmente natural* debido a que la materia prima proviene de la hidrogenación de la glucosa.

Por su parte, para un cultivo hidropónico se prescinde de la tierra, que finalmente sólo sirve para sostener de forma física la planta; en su lugar se utiliza un material inerte para dar soporte al cultivo, como la fibra de coco, la lana de roca y la vermiculita (silicatos de hierro y magnesio) que retienen líquidos y propician el intercambio de gases. Como nutrimento se utilizan diversos sulfatos y nitratos de calcio, potasio, magnesio, zinc y cobre, que se añaden de forma controlada y son absorbidos directamente por la planta. Se requieren instalaciones especiales protegidas de plagas y con un control de la insolación, la temperatura y la humedad; con este sistema se produce brócoli, cebolla, fresa, germinado de alfalfa, jitomate, rábano, zanahoria y otros.

El café no contiene sólo cafeína; también contiene magnesio, potasio y cromo, que influyen en la actividad de la insulina. Todos estos compuestos, actuando en conjunto, pueden brindar beneficios a la salud previniendo enfermedades. Por ejemplo, algunos estudios de largo plazo muestran que el consumo de café reduce el riesgo de cáncer de mama y de colon, la cirrosis, la diabetes, y promueve los microorganismos probióticos en el intestino.

9

Bebidas no alcohólicas

Como se indicó anteriormente, el hombre necesita beber de 2 a 3 litros de agua por día, o 1 mL/kcal, para compensar las pérdidas normales de líquidos. Para ello se dispone de agua pura, aguas frescas, té, café y bebidas embotelladas.

Las aguas frescas más populares son las de jamaica, tamarindo, horchata y limón. Los cálices secos de la flor de jamaica se hierven en agua para extraer los compuestos responsables del sabor y aroma, así como las antocianinas y diversos ácidos muy agresivos con los metales, por lo que se recomienda el uso de vidrio; es un diurético importante y se le atribuye el control de la hipertensión. El tamarindo es una planta de la India cuyo fruto velloso contiene una pulpa rojiza y oscura de sabor agrio, a partir de la cual se hace el agua fresca. La horchata se elabora con arroz remojado y molido con leche, canela y azúcar. El consumo de aguas frescas sería una buena práctica si no se le añadiera tanta azúcar que va en detrimento de la salud del consumidor.

Té

El té (del chino *tscha*) proviene de las hojas de la planta china *Camellia sinensis,* aun cuando por antonomasia a infusiones como las de tila, naranja y limón también se les designa incorrectamente como té. Su consumo data de muchos siglos atrás, y varias culturas antiguas lo emplearon como medicina; actualmente ya se le reconocen sus propiedades curativas.

Sus variedades sólo dependen del grado de oxidación y fermentación de las hojas: el blanco, llamado el champaña de los tés, se prepara con los brotes cosechados en las altas montañas unos cuantos días en primavera y no es fermentado ni oxidado. El verde conserva las cualidades de la hoja fresca, con un mínimo de fermentación; las hojas jóvenes se cuecen para desactivar sus enzimas y detener la oxidación, luego se prensan para reducir la humedad y se secan con aire caliente. El negro es el más fermentado y oxidado, sus hojas marchitas se prensan y se dejan reposar para generar un fuerte sabor.

Sus catequinas representan hasta 30% de la hoja verde y se convierten en teaflavinas durante la oxidación para producir el té negro; tanto las catequinas como las teaflavinas son potentes antioxidantes que están presentes en mayor concentración que en muchas frutas y verduras. Sus efectos benéficos incluyen reforzamiento del sistema inmunológico, reducción del colesterol, incremento de las lipoproteínas de alta densidad, control de la diabetes, reducción de la inflamación y prevención del mal de Parkinson y de Alzheimer.

Por gramo, el contenido de cafeína de la hoja de té es mayor que el del café tostado; sin embargo, debido a la forma de preparación, la cantidad que se consume en una taza es casi la mitad: 30 a 50 mg para el té y 60 a 85 mg para el café. Su astringencia se debe a los taninos, que se neutralizan con la adición de leche ya que las proteínas lácteas reaccionan con ellos; para mejores resultados se recomienda añadir el té a la leche y no al revés, para dar más tiempo a la interacción entre ellos; sin embargo, cuando se trata de leche acidificada, el té caliente provoca la precipitación de las caseínas. El agua extrae en primera instancia los aromas, seguido de la cafeína y de los taninos; usar agua dura rica en calcio provoca la precipitación de algunos de los compuestos aromáticos.

Las bebidas embotelladas a base de té no contienen tantos antioxidantes como la infusión hecha con sus hojas; en algunos casos tienen tan poca cantidad de té que se tendrían que beber de 15 a 20 botellas para alcanzar el mismo nivel de estos agentes benéficos. Además, muchos de estos productos contienen una elevada cantidad de azúcar.

Café

Una teoría sobre el origen del vocablo ***café*** es que deriva de Kafa, una provincia de Etiopía de donde se supone es originaria esta planta, cuyo grano es verde y se transforma en amarillo y rojo con la maduración.

Cuando se habla de café siempre se hace alusión a la cafeína a la que tradicionalmente se le ha adjudicado una imagen negativa; sin embargo, los últimos hallazgos científicos han reivindicado esta bebida tan popular en todo el mundo. Sus principales variedades son la arábica, que es la más popular y la de mayor calidad, y la robusta, con 1.2% y 3% de cafeína respectivamente; sin embargo, la cantidad de esta xantina en la bebida final depende del tostado y la molienda del grano, así como de la forma de preparación. La cafeína contribuye con aproximadamente 10% al sabor amargo de la taza del café en la que se encuentran aproximadamente 80 mg en una taza de 250 mL, en contraste con muchas bebidas embotelladas de cola que lo contienen en una proporción de 35 mg/250 mL. Algunos estudios han mostrado que la cafeína, al ser un estimulante del sistema nervioso central, mejora el despertar, la concentración, el movimiento y hasta el rendimiento intelectual y la disposición para aprender.

Pero el café no contiene sólo cafeína; también están presentes muchos agentes bioactivos benéficos, como sus polifenoles antioxidantes, principalmente los ácidos clorogénico, cafeico y quínico, además de lignanos. Al igual que el té, tiene una mayor proporción de antioxidantes que muchas frutas y verduras, y que varía con diversos factores, pero que va de los 300 a los 400 mg por taza. También contiene magnesio, potasio y cromo, que influyen en la actividad de la insulina. Todos estos compuestos, actuando en conjunto, pueden brindar beneficios a la salud previniendo enfermedades. Por ejemplo, algunos estudios de largo plazo muestran que el consumo de café reduce el riesgo de cáncer de mama y de colon, la cirrosis, la diabetes, y promueve los microorganismos probióticos en el intestino. Los agentes antioxidantes permanecen en el café descafeinado, por lo que también proporciona los mismos beneficios. Se considera que tomar de 3 a 4 tazas de esta bebida al día proporciona más del 60% de los antioxidantes necesarios para promover una buena salud en las personas.

El tostado del grano, que varía de 160 a 220 °C, lo deshidrata y propicia la reacción de Maillard y la caramelización, responsables del color, de los aromáticos y del sabor amargo, pero también de la formación del benzopireno (vea en el capítulo 5 la sección Efecto negativo de las altas temperaturas); en general, un mayor tostado lo hace más oscuro y reduce la cantidad de cafeína y su acidez. El contenido de antioxidantes puede verse disminuido por efecto del tostado hasta en un 40% en función de la intensidad del tratamiento térmico; sin embargo, los productos que se forman de la reacción de Maillard también poseen actividad antioxidante, aunque no en cantidad suficiente como para balancear estas pérdidas, por lo que es importante controlar el tiempo de tostado. La molienda determina el tamaño de la partícula: entre más fina, mayor será la extracción de sus componentes solubles, como la cafeína, ácido clorogénico y aromas, cuando se añada agua caliente.

El café soluble se fabrica por la percolación o extracción del grano tostado y molido, para después secar el extracto por aspersión o liofilización. Para elaborar el café descafeinado, las semillas verdes sin tostar se calientan con vapor y aproximadamente 95% de la cafeína se extrae con cloruro de metileno, acetato de etilo o bióxido de carbono a alta presión.

En el aroma del café recién hecho se han identificado más de 800 compuestos, aunque sólo algunos son los que verdaderamente influyen; muchos de ellos se pierden al almacenar el grano molido inadecuadamente, como en lugares calientes, húmedos y en recipientes no herméticos, ya que el oxígeno lo afecta.

Una simple taza de café bien caliente se enfría siguiendo principios de la termodinámica que facilitan una mayor transferencia de calor del interior al exterior. Por ejemplo, al agitar la taza con la cuchara o al soplar la infusión se expone más área caliente al medio ambiente y con ello se propicia el movimiento de energía; entre mayor sea el diferencial de temperatura entre el café y el entorno, aumentará la vaporización, más calor perdido y mayor desprendimiento de aromáticos.

Bebidas gaseosas

El alto consumo de bebidas gaseosas embotelladas (refrescos) se ha relacionado en México con obesidad, caries, diabetes y hasta con la descalcificación de huesos y consecuente osteoporosis; el ácido fosfórico, sobre todo de las bebidas de cola, no permite una adecuada absorción del calcio.

Estas bebidas se elaboran a partir de agua que se gasifica con CO_2 a 4 °C o menos y a altas presiones para favorecer la disolución del gas en el líquido y en una proporción de 3 a 4 volúmenes por cada volumen de agua. Hace muchos años el bióxido de carbono se producía a partir de una sal sódica y un ácido, razón por la cual a los refrescos también se les llamaba *sodas*. A esta agua carbonatada se le añaden diferentes ingredientes: para el dulzor, sacarosa y jarabes de maíz; o bien, aspartame y otros para las denominadas *light;* el color se logra con diversos colorantes tanto naturales como sintéticos, por ejemplo los caramelos se utilizan para las de cola; el sabor es una mezcla de saborizantes junto con ácidos cítrico, tartárico, fosfórico o málico; el benzoato de sodio se usa en 200 ppm (0.02%) y, junto con la acidez, la pasteurización y el bióxido de carbono, es responsable de la larga vida en anaquel de estos productos; la cafeína se adiciona en 10 a 20 mg/100 mL; algunos llevan quinina, estimulante del sistema nervioso y antipirético (combate la fiebre), usado contra la malaria.

Las llamadas bebidas *light* a base de aspartame tienen una vida útil menor que las tradicionales a base de azúcar, ya que el edulcorante sintético se hidroliza por el ácido del refresco y, además de perder dulzor, genera sabores indeseables.

Por la mayor solubilidad del gas a bajas temperaturas, un refresco frío mantiene más la efervescencia y sus burbujas provocan una mayor sensación de astringencia al romperse en la boca. La agitación de un envase cerrado libera el gas disuelto y hace que se acumule en la parte superior, lo que crea una fuerte presión interna contra la tapa, que se hace patente con una pequeña explosión al destaparlo.

Las bebidas envasadas en PET mantienen su rigidez gracias a la presión interna del CO_2 y del nitrógeno superficial añadido justo antes de cerrar el envase, pero se pierde una vez abierto al escaparse parte de este gas; eso también ocurre con las botellas de agua que

contienen nitrógeno. Cuando cualquiera de ellas se enfría sin llegar a la congelación y luego se abre, ocurre la inmediata formación de hielo; este fenómeno se explica con ayuda de la figura 1.2: el gas disuelto evita la congelación del líquido aun por debajo de 0 °C, pero una vez abierta la botella, el gas escapa y la baja temperatura provoca su congelación inmediata.

Anexos

Anexo I

Composición química de los alimentos

100 g	Humedad	Fibra dietética	Hidratos de carbono	Proteínas	Lípidos	Calorías	
						kcal	kJ
Aguacate	69.5	1.8	5.9	1.8	20.4	214	897
Ajonjolí	3.9	6.3	24.0	18.0	50.8	586	2 454
Almendra	4.7	7.2	21.6	21.2	49.4	575	2 408
Amaranto	12.3	6.7	66.1	14.5	6.5	374	1 565
Arroz integral	4.3	4.9	76.1	7.5	2.6	362	1 515
Atún en aceite	60.6	0.0	0.0	24.2	20.5	281	1 177
Berenjena	90.8	1.5	5.7	1.0	0.2	24	102
Betabel	85.5	0.8	9.5	1.6	0.1	43	180
Bolillo	25.0	1.9	62.1	10.1	1.3	301	1 257
Brócoli	88.1	1.5	6.6	2.8	0.3	34	141
Cacahuate tostado	1.6	5.1	25.3	17.3	51.4	594	2 485
Carne de cerdo	59.7	0.0	0.0	16.7	22.6	270	1 131
Carne de res magra	71.6	0.0	0.0	20.9	6.3	140	587
Centeno	11.0	2.0	69.7	14.7	2.5	335	1 402
Chapulín	0.0	11.5	4.8	77.2	4.7	412	1 725
Chícharo	73.4	4.3	14.4	5.4	0.4	81	339
Chile jalapeño	90.3	2.3	5.3	1.2	0.1	27	113
Chorizo	31.9	0.0	0.0	24.0	38.3	441	1 844
Clara de huevo	86.1	0.0	0.9	10.5	0.2	45	188
Coliflor	89.4	1.6	5.3	2.0	0.1	25	103
Durazno	83.9	2.3	11.7	0.9	0.1	51	215
Ejotes	90.7	1.0	3.5	2.0	0.4	26	107
Elote amarillo	58.1	4.8	30.7	3.6	1.4	157	659
Escamol	0.0	2.1	14.8	47.9	28.9	543	2 274
Espagueti	10.4	0.3	80.0	8.5	1.2	365	1 533
Espinaca	88.1	4.0	3.6	2.8	0.3	23	97
Fresa	89.7	2.0	7.0	0.6	0.4	34	142
Frijol	8.9	4.3	61.5	21.2	1.8	347	1 451

100 g	Humedad	Fibra dietética	Hidratos de carbono	Proteínas	Lípidos	Calorías	
						kcal	kJ
Garbanzo	8.4	5.0	61.0	20.4	6.2	381	1 596
Gelatina con agua	81.4	0.0	15.0	2.8	0.0	71	298
Germen de trigo	9.3	13.2	46.7	23.1	9.7	367	1 535
Granada	76.5	2.7	17.7	1.0	0.3	78	324
Guayaba	80.5	5.6	14.3	2.5	0.9	68	285
Gusano de maguey	0.0	3.4	12.0	39.1	42.1	610	2 554
Haba	8.9	3.0	63.1	22.6	2.2	363	1 517
Harina de trigo blanca	12.0	0.3	80.5	9.5	1.2	371	1 551
Higo	77.1	1.7	19.1	0.7	0.3	74	310
Huachinango	78.3	0.0	0.0	20.1	1.2	91	382
Huevo entero fresco	74.3	0.0	1.1	12.3	11.1	154	645
Huevo frito	66.4	0.0	0.0	15.4	15.1	202	846
Jamón de pavo	71.4	0.0	0.4	18.9	5.1	123	515
Jícama	87.1	1.9	8.8	0.7	0.1	38	159
Jitomate	92.8	1.5	3.9	0.8	0.2	18	75
Jugo de naranja	88.5	0.1	10.4	0.7	0.2	46	193
Leche condensada azucarada	27.7	0.0	54.4	7.9	8.7	328	1 370
Leche en polvo	2.5	0.0	38.4	26.3	26.7	499	2 088
Leche evaporada	74.0	0.0	10.0	6.8	7.6	136	567
Leche fresca	87.9	0.0	4.7	3.3	3.3	62	258
Leche materna	87.5	0.0	6.9	1.1	3.2	61	255
Lechuga	91.9	1.5	4.1	1.4	0.3	25	103
Lenteja	10.3	5.2	60.0	25.8	1.0	353	1 477
Limón	84.9	2.1	12.1	1.0	0.3	50	209
Longaniza	45.3	0.0	1.0	11.6	40.2	409	1 713
Maicena	13.5	0.2	85.6	0.6	0.2	347	1 450

100 g	Humedad	Fibra dietética	Hidratos de carbono	Proteínas	Lípidos	Calorías	
						kcal	kJ
Maíz	10.6	3.2	74.2	9.4	4.7	365	1 527
Mamey	72.4	4.5	12.5	0.5	0.5	51	213
Mandarina	72.4	4.5	13.3	0.8	0.3	53	223
Mango	84.8	1.1	17.0	0.5	0.2	65	272
Mantequilla	15.9	0.0	0.1	0.8	81.1	740	3 097
Manzana	80.1	2.1	13.8	0.2	0.1	52	218
Margarina	15.7	0.0	0.9	0.9	80.5	732	3 061
Mayonesa	15.2	0.0	4.6	1.1	77.8	723	3 025
Melón	90.2	1.0	9.0	0.5	0.1	36	150
Mermelada	38.0	0.5	60.0	0.5	0.3	245	1 024
Mojarra	78.7	0.0	0.0	16.8	2.7	91	383
Nopal	90.1	3.5	5.6	0.7	0.0	26	108
Nuez de Castilla	3.5	2.0	13.7	15.2	65.2	654	2 738
Pan de caja	48.0	0.9	43.1	3.9	3.6	220	922
Papa	80.0	0.5	17.4	2.0	0.1	77	321
Papaya	87.1	1.2	9.8	0.6	0.1	39	163
Pasta	8.1	0.9	82.8	7.4	2.0	379	1 585
Patas de cerdo	68.8	0.0	0.0	13.5	16.1	199	832
Pepino	95.2	0.9	2.1	0.5	0.1	12	52
Pimiento morrón rojo	91.0	1.2	5.3	0.8	0.4	28	117
Piña	85.7	1.4	11.1	0.5	0.1	50	209
Piñón	6.6	4.5	16.8	19.3	50.7	601	2 513
Plátano	73.2	2.1	22.8	1.0	0.3	89	391
Pollo	65.9	0.0	0.0	18.6	15.1	210	880
Queso americano	39.2	0.0	1.6	22.2	31.2	376	1 573
Queso Chihuahua	40.6	0.0	5.5	20.1	5.6	361	1 509
Queso fresco	62.7	0.0	5.0	20.3	7.0	164	687

100 g	Humedad	Fibra dietética	Hidratos de carbono	Proteínas	Lípidos	Calorías	
						kcal	kJ
Queso manchego	41.8	0.0	0.5	29.0	28.7	376	1 574
Queso Oaxaca	45.2	0.0	3.0	25.7	22.0	313	1 309
Queso panela	51.0	0.0	2.5	26.5	18.0	278	1 163
Rábano	95.4	0.6	1.5	1.5	0.1	13	54
Requesón	68.9	0.0	10.0	12.3	8.0	161	674
Salchicha	54.0	0.0	2.7	3.3	36.2	390	1 631
Salvado de trigo	9.9	29.6	38.7	15.5	4.2	358	1 500
Sandía	90.9	0.3	7.5	0.6	0.15	30	127
Sardina en aceite	59.6	0.0	0.6	18.8	23.6	290	1 213
Sardina en tomate	64.3	0.0	1.7	18.7	12.2	197	801
Soya	6.0	12.5	30.1	36.4	19.9	446	1 866
Tomate verde	90.2	2.4	5.1	1.2	0.2	23	95
Tortilla	55.8	1.0	37.0	4.4	1.7	180	754
Trigo entero	9.1	3.3	73.4	10.6	2.6	359	1 504
Tuna	89.3	1.2	8.1	0.6	0.1	41	172
Uva	78.9	1.3	17.8	0.7	0.6	69	288
Yema de huevo	50.8	0.0	0.8	16.1	30.5	342	1 432
Yogur	87.9	0.0	4.7	3.5	3.3	63	262
Zanahoria	81.0	6.3	9.5	0.9	0.2	41	173

* Las cantidades no siempre suman 100%, y en algunos casos es inferior por la falta de vitaminas y minerales.
Muñoz de Chávez, Miriam. *Composición de alimentos*. Ed. McGraw Hill, México. 2010.

Anexo II

Recomendaciones de ingestión diaria de proteínas, hidratos de carbono y lípidos

Edad y sexo	Proteínas g/kg/día	Lípidos [proporción (%) de la energía total]						Colesterol mg/100 kcal	Hidratos de carbono g/día	Fibra g/día
		Lípidos totales	Ácidos grasos saturados	Ácidos grasos monoinsaturados	Ácidos grasos poliinsaturados					
					Totales	*n*-6	*n*-3			
Niños										
0 a 6 meses	2.00	55	-		6-10	-8	1	120-130	60	
6 a 12 meses	1.10	40-55	-		6-10	-6	1	120-130	95	
1 a 2 años	1.00	25-35	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	
2 a 3 años	1.00	25-35	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	14
3 a 4 años	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	14
5 a 8 años	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	18
Hombres										
9 a 13 años	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	22
14 a 18 años	0.95	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	30
19 a 30 años	0.83	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	35
31 a 50 años	0.83	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	35
51 a 60 años	0.83	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	30
61 a 70 años	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	30
> 70 años	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	30

Mujeres										
9 a 13 años	0.95	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	22
14 a 18 años	0.85	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
19 a 30 años	0.83	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
31 a 50 años	0.83	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
51 a 60 años	0.83	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
61 a 70 años	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
> 70 años	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
Embarazadas										
1er. trimestre	1.00	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
2o. trimestre	+6.0	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	130	25-30
3er. trimestre	+11.0	25-30	< 7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	175	25-30
Lactantes										
1er. trimestre	+16.0	25-30	<7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	210	25-30
2o. trimestre	+16.0	25-30	<7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	210	25-30
3er. trimestre	+11.0	25-30	<7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	210	25-30
Ponderada	1.00	25-30	<7	Por diferencia	6-10	5-8	1-2	120-130	120	30

Bourges, Héctor; Esther Casanueva, y Jorge L. Rosado. *Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana*. Bases fisiológicas. Tomo 2. Energía, proteínas, lípidos, hidratos de carbono y fibra. Editorial Médica Panamericana. México. 2008:193.

Anexo III

Valor nutrimental de referencia

	IDR	IDS
Proteína g/kg de peso corporal	1	
Fibra dietética g	30	
Vitamina A µg (equivalentes de retinol)		568
Vitamina B1 µg (tiamina)		800
Vitamina B2 µg (riboflavina)		840
Vitamina B6 µg (piridoxina)		930
Niacina mg (equivalente a ácido nicotínico)		11
Acido fólico µg (folacina)		380
Vitamina B12 µg (cobalamina)		2.1
Vitamina C mg (ácido ascórbico)	60	
Vitamina D µg (como colecalciferol)		5.6
Vitamina E mg (equivalente a tocoferol)		11
Vitamina K µg		78
Acido pantoténico mg		4.0
Calcio mg		900
Cobre µg		650
Cromo µg		22
Flúor mg		2.2
Fósforo mg	664	
Hierro mg		17
Magnesio mg		248
Selenio µg		41
Yodo µg		99
Zinc mg		10

IDR: Ingestión diaria recomendada.
IDS: Ingestión diaria sugerida. Se usa cuando la información sobre requerimientos es insuficiente. Norma Oficial Mexicana. NOM-051.

Anexo IV

Redondeo de cifras para la declaración nutrimental

Nutrimento	Parámetro de redondeo
Contenido energético o calorías	< 5 Cal – reportar 0 < 50 Cal – expresar en múltiplos de 5 Cal > 50 Cal – expresar en múltiplos de 10 Cal
Grasas o lípidos	< 0.5 g – reportar 0 < 5 g – expresar en múltiplos de .5 g > 5 g – redondear al entero más cercano
Colesterol	< 2 mg – reportar 0 2-5 mg – reportar "menos de 5 mg" > 5 mg – expresar en múltiplos de 5 mg
Sodio Potasio	< 5 mg – reportar 0 5-140 mg – expresar en múltiplos de 5 mg > 140 mg – expresar en múltiplos de 10 mg
Carbohidratos y sus componentes	<0.5 g – reportar 0
Fibra dietética	< 1 g – reportar "contiene menos de 1 g" o "menos de 1 g" > 1 g – redondear al entero más cercano
Proteína	< 0.5 g –reportar 0 < 1 g – reportar "contiene menos de 1 g" o "menos de 1 g" > 1 g – redondear al entero más cercano
Vitaminas y minerales	Expresar en porcentaje del VNR ≤ 2% del VNR – reportar 0 < 10% del VNR – expresar en múltiplos de 2% > 10%-50% del VNR – expresar en múltiplos de 5% > 50% de VNR – expresar en múltiplos de 10%

VNR: Valor nutrimental de referencia.
Norma Oficial Mexicana. NOM-051.

Anexo V

Tabla de conversión de unidades

	Para convertir	En	Multiplicar por
Concentración	partes por millón (ppm) microlitros por kilogramo (μL/kg)	miligramos por kilogramo (mg/kg) mililitros por kilogramo (mL/kg)	1 0.001
Densidad	gramos por mililitro (g/mL)	gramos por litro (g/L)	1 000
Energía	kilocaloría (kcal, Cal) kilocaloría (kcal) watts-hora (w-h)	caloría kiloJoule (kJ) kilocaloría (kcal)	1 000 4.2 860
Longitud	centímetro (cm) milímetro (mm) milímetro (mm) milímetro (mm) micra (μm)	milímetro (mm) micra (μm) nanómetro (nm) Angstron (Å) nanómetro (nm)	10 1 000 1 000 000 10 000 000 1 000
Peso	kilogramo (kg) gramo (g) miligramo (mg)	gramo (g) miligramo (mg) microgramo (μg)	1 000 1 000 1 000
Presión	atmósfera (atm) bar (bar)	milímetro de mercurio (mm Hg) atmósfera (atm)	760 0.987
Temperatura	grado centígrado (°C) grado Fahrenheit (°F)	grado Fahrenheit (°F) grado centígrado (°C)	1.8 × °C + 32 0.56 × °F - 17.8
Volumen	litro (L) mililitro (mL) litro (L) litro (L) centímetro cúbico (cm^3)	mililitro (mL) microlitro (μL) decilitro (dL) galón mililitro (mL)	1 000 1 000 10 0.264 1

Anexo VI

Potencial de hidrógeno y grados Brix

El potencial de hidrógeno, o pH, es la medida de iones hidrógeno (H^+) de una solución en una escala de 0 a 14, en la cual el 7 es neutro, ni ácido ni alcalino, y equivale al agua absolutamente pura. Mientras más cercano al 0, más ácido, y al 14, más alcalino.
Ejemplos:

Jugo gástrico	2.2
Jugo de limón	2.3
Jugo de naranja	3.0
Refresco de cola	3.5
Puré de tomate	4.1
Yogur	4.5
Café negro	5.0
Leche	6.8
Clara de huevo	8.5
Bicarbonato de sodio en agua	8.6
Líquidos de limpieza con amoniaco	12

Grados Brix (°Brix) es una escala para medir concentraciones de soluciones de diferentes azúcares, considerando que 1 °Brix equivale a 1 g de sacarosa en 100 mL. Por ejemplo, una solución de 25 °Brix corresponde a 25 g de sacarosa por 100 mL, o su equivalente en otros azúcares.

Anexo VII

Abreviaturas más comunes

ADI:	Acceptable daily intake
ADN:	Ácido desoxirribonucleico
AOAC:	Association of Official Analytical Chemists
ATP:	Adenosin trifosfato
BHA:	Butilhidroaxianisol
BHT:	Butilhidroxitolueno
CMC:	Carboximetilcelulosa
DE:	Dextrose equivalent
D&C:	Drug and Cosmetic Colors
DHA:	Acido docosahexaenoico
DPA:	Ácido docosapentaenoico
EDTA:	Etilendiamtetraacetato
EEC:	European Economic Community
EPA:	Ácido eicosapentaenoico
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDA:	Food and Drug Administration
FD&C:	Food, Drug and Cosmetic Colors
GMO:	Genetically modified organism
GMS:	Glutamato monosódico
GRAS:	Generally recognized as safe
HDL:	High density lipoproteins
HTST:	High temperature short time
IDR:	Ingesta diaria recomendada
IDS:	Ingesta diária sugerida
IG:	Índice glucémico
INNSZ:	Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán
IQF:	Individually quick frozen
LAD:	Lipoproteínas de alta densidad
LBD:	Lipoproteínas de baja densidad
LD:	Lethal dosis
LDL:	Low density lipoproteins
MPF:	Minimally processed foods
MSG:	Monosodium glutamate
OGM:	Organismos genéticamente modificados
OMS:	Organización Mundial de la Salud
ORAC:	Oxygen radical absorbance capacity
OSI:	Oil stability index
O/W:	Oil in water
PPM:	Partes por millón
TIF:	Tipo Inspección Federal
TMA:	Trimetilamina

UFC:	Unidades formadoras de colonias
VNR:	Valor Nutrimental de Referencia
WHO:	World Health Organization
W/O:	Water in oil
WPC:	Whey protein concentrate
WPI:	Whey protein isolate

Bibliografía

Akoh, C.C. y Min, D.B. *Food Lipids, Chemistry, Nutrition and Biotechnology*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. 2002.

Angell, C.A. *Water, what we know and what we don't*. In Water Science for Food. Z. Berk, Ed. Technomics. Lancaster, PA. 2001.

AOAC. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Virginia. 1995.

Ashie, I.N.A. *Bioprocess Engineering of Enzymes*. Food Technol. 57. 2003.

Ávila Franco, A. y Balboa Hernández, J.M. *Manejo higiénico de los alimentos para empresas comunitarias*. Secretaría de Turismo, México. 2005.

Badui, S. *Química de los alimentos*. Pearson. México. 2006.

Barham, P., Skibsted, L., Bredie, W., Frost, M., Moller, P., Risbo, J., Snitkjaer, P y Mortensen, L. *Molecular gastronomy: a new emerging scientific discipline*. Chem. Rev. 110:2313. 2010.

Barham, P. *The Science of Cooking*. Springer-Verlag. Berlín. 2001.

Barros, C. y Villar, M. *El santo olor de la panadería*. Fernández Cueto Ed. México. 1993.

Bartz, J.A. y Brencht, J.K. *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Marcel Dekker. Nueva York. 2003.

Belitz, H.D., Grosch, D. y Schieberle, eds. *Food chemistry*. Springer-Verlag. Berlín. 2004.

Berger, R.G. *Biotechnology of Flavours-The next generation*. Biotechnology Letters 31:1651. 2009.

Blanco, C. *A la hora de comer, ¿qué nos preocupa?* Fondo de Cultura Económica. México. 2005.

Blumenthal, H. *The big fat duck cookbook*. Bloomsbury. Nueva York. 2008.

Blumenthal, M.M. *Frying Technology*. Bailey´s Industrial Oils and Fat Products. John Wiley & Sons. Nueva York. 1995.

Brody, A.L. *Extending shelf life with micro-oxygen technologies*. Food Technol. 01(79). 2011.

Bourges, H. *Elementos de nutriología*. Química de los alimentos. Ed. S. Badui. Pearson. México. 1993.

Bourges, H. *et al. Pautas para la orientación alimentaria en México*. International Life Sciences Institute. México. 2004.

Bowman, B.B. y Russell, R.M. *Present knowledge in nutrition*. International Life Sciences Institute. Washington, D.C. 2001.

Britton, G. *Pigments in foods. More than just colours*. Proc. Cong. Pigments in Foods. España. 1999.

Burdock, G.A. *Fenaroli´s Handbook of Flavor Ingredients*. CRC Press, Boca Ratón, Fl. 2004.

Butler, P. *Smart packaging - Intelligent packaging for foods, beverages, phamaceuticals, and household products*. Materials World 9:11. 2001.

Campbell´s Kitchen. Campbell Soup Company, Camden, N.J. www.campbellsoup.com. 2010.

Chandan, R.D. y Shahari, K.M. *Yogurt*. Dairy Science and Technology Handbook. VCH Publishers, Inc. Nueva York. 1992.

Charalambous, G. ed. *Spices, herbs and edible fungi*. Elsevier. Amsterdam. 1994.

Charley, H. *Tecnología de alimentos*. Ed. Limusa. México. 1987.

Chauvet, M. y Galvez, A. *Learning about biosafety in Mexico: between competitiveness and conservation*. Int. J. of Biotechnol. 7. 2005.

Christen, G.L. y Smith, J.S. *Food chemistry: Principles and applications*. Science Technology System. West Sacramento, California. 2000.

Clark, P.J. *Functional effects of nonthermal processes on foods*. Food Technol. 01(77). 2011.

Codex Alimentarius. *Principios generales de higiene de los alimentos*. CAC/RCP-1. Roma. 2003.

Coenders, A. *Química culinaria*. Ed. Acribia. Zaragoza. 1996.

Control of *Salmonella* in Low Moisture Foods. The association of food, beverage and consumer products companies, GMA. USA. 2009.

Córdova Frunz, J.L. *La química y la cocina*. Fondo de Cultura Económica. México. 2009.

Corriher, S.O. *Cookwise*. William Morrow Ed. Nueva York, 1997.

Crittenden, R. *Prebiotics a Critical Review*. Ed. Tannock, G.W., Horizon Scientific Press, RU. 1999.

Dalby, A. *Dangerous Tastes: The story of spices*. Berkeley Univ. of California Press. 2000.

Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria. Thomson PLM. México, 2009.

Duxbury, D. *Flavor analysis integral to product development*. Food Technol. 59. 2005.

El, S.N. y Kavas, A. *Available Lysin in Dried Milk after Processing*. Int. J. Food Sci. Nutr. 48:2. 1997.

Encyclopedia of Food Science and Technology, John Wiley & Sons, Inc. 1991.

FAO/WHO/UNU. *Energy and protein requirements*. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Food Nutr. Paper 51:23. 1991.

FAO/WHO. *Human Vitamin and Mineral Requirements*. FAO, Roma. 2001.

Fennema, O.R. *Food Chemistry*. Marcel Dekker, Nueva York. 1996.

Fennema, O.R. *Química de los Alimentos*. Ed. Acribia, España. 2008.

Fernández-Armesto, F. *Historia de la comida. Alimentos, cocina y civilización*. Tusquets Ed. Barcelona. 2004.

Food and Drug Administration. *Guidance for Industry. Food Producers, Processors and Transporters. Food Security Preventive Measures Guidance*. Washington. Marzo de 2003.

Fox, J.B. *Los pigmentos de la carne*. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Acribia, Zaragoza. 1994.

Fritsch, C.W. *Lipid oxidation. The other dimensions*. Inform 5. 1994.

Fulton, M. *Encyclopedia of Food and Cookery*. W.H. Smith Publishers, Inc. Nueva York. 1986.

Fundación Campo, Educación y Salud, A.C. *5 x día*. México. 2008.

Fuster, V. y Corbella, J. *La ciencia de la salud*. Editorial Planeta, Madrid, 2007.

Green, C. *et al*. *Recreating flavors from nature*. Food Technol. 58. 2005.

Hallström, B. *Heat Transfer and Food Products*. Elsevier. Londres. 1990.

Hefle, S. *The Chemistry and Biology of Food Allergens*. Food Technol. 50. 1996.

Hillman, H. *The new kitchen science*. Houghton Mifflin Co. Nueva York. 2003.

Jay, J.M. *Microbiología moderna de los alimentos*. Ed. Acribia, Zaragoza. 2002.

Kays, S.J. y Paull, R.E. *Postharvest Biology*. Exxon Press, Athens, GA. 2004.

Kimber, I. y Dearman, R.J. *Factors affecting the development of food allergies*. Proceedings Nutrition Society. 61. 2002.

Kosikowski, F.V. y Mistry, V.V. *Cheese and Fermented Milk Foods*. Ed. Westport. 1997.

Kuntz, L.A. *Selecting a Frying Fat*. Food Product Design. Julio de 1994.

Lawrie, R.A. *Meat Science*. Technomic Publishing, Lancaster, PA. 1998.

Ledesma, E. y Apitz-Castro, R. *Ajoene, el principal compuesto activo derivado del ajo (Allium sativum), un nuevo agente antifúngico*. Rev. Iberoam. Micol. 23:75, 2006.

Liebler, D.C. *Introduction to Proteomics*. Human Press, New Jersey. 2002.

List, G.R. *Decreasing trans and saturated fatty acid content in foods*. Food Technol. 58. 2004.

Lister, T. y Blumenthal, H. *Kitchen Chemistry*. Royal Society of Chemistry. Londres. 2005.

Lusas, E.W. y Rhee, K.C. *Soy protein processing and utilization*. Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization. AOCS Press, Missouri. 1995.

Marsh, R.W. y Olivo, C.T. *Principios de la refrigeración*. Ed. Diana. México. 1991.

Mathewson, P.R. *Enzymes. Practical Guides for the Food Industry*. Eagan Press, Minnesota. 1998.

McGee, H. *La Buena Cocina*. Ed. Debate, Madrid. 2010.

McGee, H, McInerny, J. y Harrus, A. *The virtual cook: Modeling heat transfer in the kitchen*. Physics Today. Noviembre de 1999.

McGee, H. *On food and cooking*. Scribner, Ed., Nueva York. 2004.

McGee, H. *The Curious Cook: More Kitchen Science and Lore*. North Point Press, San Francisco. 1990.

Mollins, R. *El costo invisible de las enfermedades transmitidas por alimentos*. Comunica. Enero-abril. 2007.

Moreau, R.A. y Kamal-Eldin, A. *Gourmet and Health Promoting Speciality*. American Oil Chemists Society Press, Illinois, E.U. 2009.

Moughan, P.J. *Dietary protein quality in humans-an overview*. J. AOAC Int. 88(3). 2005.

Nabors, L.O. *Alternative Sweeteners*. Dekker. Nueva York. 2001.

Paredes López, O. *Amaranth: Biology, Chemistry, Technology*. CRC. Boca Ratón, Florida. 1994.

Perfiles nutricionales por países-México. FAO. Roma. 2003.

Peter, K.V. *Handbook of Herbs and Spices*. Woodhead. Cambridge, RU. 2001.

Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization. Ed. D. Erickson. AOCS Press and United Soybean Board. St. Louis Missouri. 1995.

Pszczola, D.E. *Ingredients*. Food Technol. 58(2). 2004.

Redmond, E.C. y Griffith, C.J. *Consumer food handling in the home: A review of food safety studies*. J. Food Protection 66. 2003.

Rodríguez Tarango, J.A. *Manual de ingenieria y diseño de envase y embalaje*. Instituto Mexicano de Profesionales en Envase y Embalaje, A.C. México. 2003.

Roma, A.A. y Prayson, R.A. *Bovine spongiform encephalopathy and variant Creutzfeldt-Jakob disease: how safe is eating beef?* Cleve Clin. J. Med. 72(3). 2005.

Russin, T. *Getting creative with hydrocolloids*. Food Technol. 64(7):58. 2010.

Schwarcz, J. *That´s the Way the Cookie Crumbles*. ECW Press. Toronto. 2002.

Singh, D.K. *La alimentación como medicina*. Ediciones Urano. Barcelona. 2004.

Singh, P. R. y Heldman, D.R. *Introduction of Food Engineering*. Elsevier. Amsterdam. 2009.

Slavin, J. *Whole grains and human health*. Nutrition Research Reviews. 17:99. 2004.

Somogyi, L.P. *Processing Fruits: Science and Technology*. Technomic, Lancaster, PA. 1996.

Soto, A.E. y Del Val, S. *Extracción de los principios edulcorantes de la Stevia rebaudiana*. Rev. de Ciencias Agrarias y Tecnol. de Alimentos. 2002.

Suppakul, P. *Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its application*. J. Food Sci. 68:408. 2003.

Tarver, T. *Healthy beverages: Back to the basics*. Food Technol. 01(33). 2011.

Tarver, T. *Science + food = fine cuisine*. Food Technol. 64(2):38. 2010.

This, H. *Molecular gastronomy*. World Food Ingred. 4:37. 2004.

This, H. *Molecular gastronomy*. Columbia University Press. Nueva York. 2005.

This, H. *Molecular Gastronomy. Exploring the science of flavor.* Albert Sonnenfeld Ed. Columbia University Press. 2006.

Valle, P. *Toxicología de alimentos*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OMS. Toluca. 1986.

Valverde, M.E. *Huitlacoche as a food source-biology, composition, and production.* CRC Critical Revs. Food Science and Nutrition. 35. 1995.

Vega, C. y Ubbink, J. *Molecular gastronomy: a food fad or science supporting innovative cuisine?* Trends in Food Sci. & Technol. 19:372. 2008.

Vega Franco, L. e Iñárritu Pérez, M. *Fundamentos de nutrición y dietética*. Pearson. México. 2010.

Walker, S. y McMahon, D. *Biochemistry Demystified*. McGraw Hill Co. Nueva York. 2008.

Walstra, P. *Physical Chemistry of Foods*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. 2003.

Whitaker, J.R., Voragen, A.G.J. y Wong, D.W.S. *Handbook of Food Enzymology.* Marcel Dekker, Nueva York. 2003.

Whitehurst, R.J. y Law, B.A. *Enzymes in Food Technology*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 2002.

Wolke, R.L. *What Einstein told his cook*. W. W. Norton Co., Nueva York. 2002.

Yannai, S. *Dictionary of Food Compounds.* CRC Press, Boca Ratón, Fl. 2004.

Zaika, L.L. *Spices and Herbs: their antimicrobial activity and its determination.* J. Food Safety. 9. 1988.

Sitios web consultados

http://www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp.

http://www.huevo.org.es/el_huevo_formacion.asp.

http://www.nutraceuticalsworld.com.

Índice

A

Aa, 8, 93
Ablandador de carne, 231
Aceite, 30, 33, 68
  de oliva, 35
  de soya, 33
Aceite esencial, 167
Aceituna, 35, 206
Acero inoxidable, 118
Acesulfame, 157
Achiote, 45, 153
Acidez, 94
Ácido
  acético, 29, 43, 146, 150,
  ascórbico, 13, 20, 29, 38, 71, 150,
  benzoico, 150, 154, 194
  carmínico, 153
  cítrico, 29, 43, 150
  clorogénico, 203, 253
  elágico, 79
  eritórbico, 150
  esteárico, 31
  fólico, 38, 70
  fosfórico, 254
  fumárico, 150
  gama-aminobutírico, 80
  graso, 31
  hialurónico, 15, 19, 82, 230
  insaturado, 31, 69
  láctico, 65, 82, 150, 219
  linoleico, 31, 68, 80
  linolénico, 31, 68, 80
  málico, 150
  oleico, 31
  omega, 32, 68, 80, 163, 235
  pantoténico, 38, 70
  poliinsaturado, 31, 68, 235
  propiónico, 150
  saturado, 31, 69
  succínico, 150
  tartárico, 150
  trans, 31, 68
  úrico, 68
Acidulante, 94, 150
Acondicionador de panificación, 150, 151
Acrilamida, 21, 117
Actina, 227, 229
Actividad del agua, 8, 93
Aditivo, 102, 149
Adulteración, 102, 150, 222, 246
Aerobio, 95
Aerosol, 50
Aflatoxina, 100, 189
Agar, 161
Agrio, 47
Agua, 4, 64, 251
  dura, 9, 73, 252
  potable, 9

Aguacate, 197
Ahumado, 140
Aires, 50, 52, 106
Aislado de soya, 187
Ajinomoto, 165
Ajo, 198
Ajoene, 199
Ajonjolí, 185, 188
Albumina, 25
  de huevo, 241
Alcaloide, 193
Alcaptonuria, 82
Aldehído cinámico, 154, 159, 207, 249
Alegría, 184
Alergia, 22, 82, 188, 215, 241, 248
Alfalfa, 185, 193, 197
Alforfón, 185
Algarrobo, goma, 160
Alginato, 107, 160
Algodón, 185
  de azúcar, 168
Alicina, 79, 159, 199
Alimento
  chatarra, 77
  de humedad intermedia, 95, 126, 140
  funcional, 81
  natural, 126, 249
  orgánico, 249
  transgénico, 34, 201, 248
Alitamo, 23, 157
Allspice, 159
Almendra, 188, 193
Almíbar, 127, 168
Almidón, 15, 150, 160, 173
Aluminio, 118, 119, 128
Alzheimer, 75, 79, 252
Amanita, 212
Amaranto, 175, 184
Amargo, 47, 48
Amarillo, 42, 154
Amibiasis, 100
Amigdalina, 193
Amilasa, 27, 62, 158
Amilopectina, 16
Amilosa, 16
Amina
  biógena, 221, 237
  heterocíclica, 117
Aminoácido, 22, 150, 163
AMP, 126
Anaerobio, 95, 124, 142, 195
Anafilaxis, 83
Anato, 45, 220, 224
Anemia, 73
Anisakis, 237
Antiaglomerante, 140, 150, 152
Antiapelmazante, 152
Antibiótico, 91, 102, 145, 156, 226, 246, 249
Antinutricional, factor, 101, 187
Antioxidante, 34, 37, 78, 80, 150, 152
Antocianina, 29, 45, 79, 153
Antoxantina, 45, 184
Antropoentomofagia, 245
Apachurrable, 132
Apiina, 193
Apio, 193
Appert, Nicolás, 127
Arábiga, goma, 160
Arginina, 22
Aroma, 41
Arroz, 172, 183, 251
Arsénico, 91
Arterioesclerosis, 60, 75
Aspartame, 23, 82, 157, 254
Aspersión, 139, 222, 253
Astaxantina, 45, 78, 236
Astringencia, 46, 55, 192
Ateroesclerosis, 60
Atmósfera controlada, 141, 195, 229
ATP, 63, 81, 195, 227, 236
Autoclave(s), 92, 113, 128
Autótrofo, 189
Avellana, 188
Avena, 83, 172, 184
Avidina, 241
Azafrán, 45, 153, 159
Azodicarbonamida, 151
Azúcar, 12, 150, 167
  invertido, 13, 158, 162, 246
Azucarado, 144
Azul, 42, 154

B

Bacilo, 92
Bacteria, 91, 121
Balance hidrófilo-lipófilo, 158
Barbacoa, 113
Baya, 207
Bebida gaseosa, 254
Benzaldehído, 189, 194
Benzantraceno, 117
Benzoato, 138, 154

Benzopireno, 117, 140, 253
Berenjena, 206
Beriberi, 70, 172
Betabel, 45, 205
Betaína, 81
Betalaína, 45, 153
BHA, 152
BHL, 158
BHT, 152
Bicarbonato de sodio, 164, 196
Biodegradación, 130
Biodisponibilidad, 26, 61, 70, 73, 81, 107, 196
Bioflavonoide, 45
Biotina, 70, 241
Bióxido de carbono, 12, 134, 141, 195, 254
Bióxido de titanio, 153
Bisfenol, 91, 124
Bisulfito, 29, 82, 128
Bitartrato, 151
Bixina, 45
Blanqueado, 33, 112, 151
Blanqueador, 151
Bloom, grado, 161
Bocio, 73, 167
Bociogénico, 13, 102, 193, 200
Botox, 100
Botulismo, 96, 99
BPA, 91
Braiserie, 112
Brécol, 200
Brix, grado, 13, 138, 207, 272
Brócoli, 66, 191, 197, 200
Bromato de potasio, 151
Bromelina, 27, 158, 231
BSE, 101
Búlgaro, 223
Butilhidroxianisol, 152
Butilhidroxitolueno, 152

C

Cacahuate, 82, 185, 188
Cacao, 31, 247
Cadaverina, 23, 221, 234
Cadena alimentaria, 88
Cadmio, 90
Café, 167, 252
Cafeína, 68, 81, 193, 252
Calabaza, 199
Calcio, 73, 81, 163
Calentamiento, 107
Calor, 108
Caloría, 63, 108
Calorímetro, 63
Calostro, 213
Camarón, 82
Canavanina, 22, 193
Cáncer, 59, 75, 78, 79, 187
Cancerígeno, 88
Canela, 79, 154, 159
Canola, 32, 185,
Cantaxantina, 236
Caña de azúcar, 168
Capeado, 115
Capsaicina, 37, 55, 68, 193, 200
Caramelización, 20, 107
Caramelo, 20, 146, 153, 254
Carbohidrato, 11
Carbón activado, 11, 14
Carboximetilcelulosa, 161
Cardamomo, 159
Caries, 65, 66, 254
Carmín, 153
Carminativo, 14, 159
Carmoisina, 154
Carne, 225
Carnitina, 72,
Carnot, ciclo de, 132
Caroteno, 44, 70, 78
Carotenoide, 44, 78, 153
Carotenosis, 45, 72, 204
Carragenina, 55, 160
Cartón, 124
  laminado, 129
Casava, 205
Caseína, 82, 214, 223
Caseinato, 223
Castaña, 188
Catalasa, 28, 75, 127
Catepsina, 227
Catequina, 252
Catsup, 201
Cebada, 185
Cebolla, 198
Celiaquía, 83, 103, 178
Celofán, 131
Celulasa, 158
Celulosa, 15, 18, 66, 161
Centeno, 83, 172, 185
Cera, 35, 129, 195, 222
Cerámica, 118
Cereal, 172
Chabacano, 188, 193

Chaconina, 193, 204
Champiñón, 212
Chatarra, alimento, 77
CHATTO, 93, 121
Chía, 33, 185
Chícharo, 185, 188
Chicle, 169
Chile, 200
Chilpotle, 140, 200
Chocolate, 79, 247
Chongo, 220, 223
Chorizo, 226, 234
Cianocobalamina, 38, 70
Cianogénico, 13, 102, 189, 193
Ciclamato, 157
Cilantro, 193
Cinc, 73
Cisticerco, 101, 132, 226
Cítrico, 71
Citrulina, 211
Clara de huevo, 160, 241
Clavo, 159
Clembuterol, 226
Climatérica, fruta, 207
Clorhidrina, 156
Cloro, 10, 151, 193
Clorofila, 43, 81, 153
Clorotetraciclina, 156
Clostridium botulinum, 99, 155, 234
CMC, 161
Cobalamina, 38, 70
Cobre, 118
Cochinilla, 153
Coco, 92, 198, 209, 223
Codex Alimentarius, 150
Coeficiente Proteico Neto, 66
Coenzima, 28, 69, 70, 73
  Q_{10}, 72, 80
Cofactor, 28, 69, 70
Colágeno, 24, 25, 81, 230
Colecalciferol, 72
Colemioglobina, 229
Cólera, 92, 96, 98
Colesterol, 36, 66, 69, 72
Coliforme, 98
Colina, 36, 72, 80, 163
Coloide, 50, 213
Color, 41, 42, 214
Colorante, 43, 150, 153
Colza, 89
Combustión, 108
Concentración, 137, 219
Concentrado de soya, 187
Condroitina, 15, 19, 81, 230
Conducción, 108
Congelación, 106, 132
Conserva, 126
Conservador, 150, 154
Contaminación, 88
  cruzada, 97, 103
Convección, 108
Convicina, 188
Cornezuelo, 100
Corrosión, 128
Cosmeceútico, 82
Cradina, 212
Crema, 224
Crémor tártaro, 151, 244
Cretinismo, 73
Crioconcentración, 136
Criocongelación, 134
Criptoxantina, 78
Crisantemo, 249
Crocetina, 45
Cromo, 73
Crospovidona, 169
Crucífera, 79, 193, 199
Crustáceo, 82, 235
Crustacianina, 236
Cryovac, 131, 132
Cuajo, 158, 215, 219, 223
Cuenta Química, 66
Cuitlacoche, 246
Curación, sal de, 229
Cúrcuma, 153, 224

D

Daidzeína, 46
Daño por frío, 133, 195
Dátil, 207, 210
Decoloración, 33, 124
Dehidrocongelación, 136
Descongelación, 136, 233
Desgomado, 33
Deshidratación, 137, 223
Desnaturalización, 26
Desodorización, 34
Dextrina, 65, 162, 185
Dextrosa, 13
DHA, 31, 68, 80, 235
Diabetes, 60, 65, 66, 75, 77, 81, 254
Dieta, 76

Digestibilidad, 66, 107
Digestión, 61
Dimetil polisiloxano, 14
Dinoflagelado, 238
Dióxido
de azufre, 29, 154, 212
de cloro, 151, 193
de nitrógeno, 151
de silicio, 152
de titanio, 153
Dioxina, 91
Dipolo, 4
Disentería, 98, 100
Dislipidemia, 60
Dispersión, 50, 150, 213, 247
Distintivo H, 103
Doble ligadura, 31
Doy pack, 131
DPA, 31, 68, 80, 235
Dulce, 47, 48
Durazno, 193, 209

E

EDTA, 168
Edulcorante, 150, 156
Ejote, 186, 197
Elastina, 25, 230
Electrolito, 65, 73, 128
Embutido, 233
Empaque, 124, 229
Emulsión, 51, 150, 213, 244
Emulsionante, 51, 150, 157
Encefalopatía, 101, 234
Endorfina, 56, 247
Energía, 63, 108
Enfermedades transmitidas por alimentos, 92, 96
Enlace peptídico, 23
Enlatado, 127
Enocianina, 153
Enranciamiento, 36
Enriquecimiento, 162
Entomofagia, 245
Envasado, 126
Enzima, 27, 122, 150, 158
EPA, 31, 68, 80, 235
Equivalente de dextrosa, 13
Ergocalciferol, 70, 72
Ergotismo, 100
Eritritol, 157, 163
Eritrosina, 154
Escaldado, 112, 127
Escamoles, 246
Escanda, 185
Escleroproteína, 25
Escorbuto, 71
Esferificación, 106
Espárrago, 191, 197
Especia, 159
Espelta, 185
Espesante, 150, 159
Espinaca, 153, 191, 205
Espiroqueta, 92
Espirulina, 81
Espora, 92, 93
Espuma, 50, 52, 106, 218, 224, 225, 243
Espumante, 150, 241
Estafilococo, 92
Estandarización, 162
Estaquiosa, 14
Estearoil-2-lactilato de sodio, 152, 182
Esterilización, 127
en frío, 144
Estevia, 156
Estradiol, 226
Estreptococo, 92
Estrógeno, 46, 79, 226
ETA, 92, 96, 103
Etilendiamintetracetato, 168
Etileno, 131, 191, 197, 208
Etilmaltol, 165
Etiqueta, 83
Eugenol, 154, 159, 207, 249
Evaporación, 6, 137, 219
Extrusión, 130, 175, 182, 187, 239

F

Factor antifisiológico, 78
Favismo, 188
FDA, 187
FDC, 154
Feité, 181
Fenilcetonuria, 82, 157
Feniletilamina, 247
Fenolasa, 29
Feofitina, 43, 196
Feoforbido, 43
Fermentación, 145
Ferrocianuro, 152, 167
Fibra, 60, 65, 160
Ficina, 27, 212
Filoquinona, 72

Filtración, 10, 146
Fitato, 73, 102
Fitoestrógeno, 46, 79, 187
Fitohemaglutinina, 102
Fitoquímico, 71, 72, 75, 78
Fitosterol, 34, 36, 78, 186
Flatulencia, 14, 82, 186
Flavonoide, 29, 45
Flavor, 47
Flúor, 167
Folato, 70
Fondue, 7, 222
Fortificación, 162
Fosfatasa alcalina, 28
Fosfatidilcolina, 36
Fosfolípido, 36, 69
Fósforo, 73
Fotosíntesis, 12
Fotooxidación, 129, 130, 142
Freír, 109, 114, 232
Fresa, 191, 209
Frijol, 67, 186
Fructosa, 13, 82
  jarabe de, 150, 162
Fruta, 189, 206
  climatérica, 197, 207
  cristalizada, 10, 140, 144
  de la pasión, 191
  no climatérica, 207
Fruto seco, 188
Funcional, alimento, 81
Furano, 117

G

Galactosa, 13
Galato de propilo, 152
Garbanzo, 185, 188
Gas, 12, 108, 134, 169
Gastroenteritis, 96
Gastronomía molecular, 21, 51, 106, 139
Gel, 51, 53
Gelana, 160
Gelatina, 54, 232
Gelatinización, 17
Gelificante, 150, 159
Genisteína, 46, 79
Ginkgo biloba, 79
Girasol, 33, 185
Gliadina, 25, 83, 177
Gliciteína, 46
Globulina, 25
Glóbulo de grasa, 216
Glucagón, 65
Glucitol, 163
Glucógeno, 18, 65
Glucona-δ-lactona, 151
Glucosa, 11, 13, 65
Glucosa oxidasa, 158, 243
Glucosamina, 13, 81
Glucósido cianogénico, 13, 189, 193
Glucosinolato, 78, 79, 102, 193, 200
Glucuronolactona, 13, 81
Glutamato monosódico, 22, 75, 165
Glutatión peroxidasa, 75, 80
Glutelina, 25
Gluten, 26, 81, 82, 151, 176
Glutenina, 25, 177
GMO, 248
GMS, 165, 180
Goma, 19, 66, 107, 160, 223
Gota, 68
Grado Brix, 13, 138, 207, 272
Gram, 92, 237
Granada, 209
Granola, 185
Gránulo de almidón, 16
GRAS, 149
Grasa, 30, 33, 66, 68
  butírica, 216, 224
Gray, 143
Grenetina, 54, 160, 230
Gripe aviar, 101, 234
Guacamole, 197
Guanilato de sodio, 47, 165
Guaraná, 81
Guaranina, 81
Guayaba, 66, 71, 212
Gusto, 41, 47

H

Haba, 185, 188
Halitosis, 76, 199
Harina, 176
Helado, 50, 135, 225
Hemaglutinina, 102, 187
Hemicelulosa, 18, 66
Hemoglobina, 46, 73
Hepatitis, 101, 237
Heterótrofo, 189
HFCS, 162
Hidracina, 102, 193
Hidrato de carbono, 11, 65

Hidrocarburo policíclico aromático, 117
Hidrocoloide, 19, 160
Hidroenfriamiento, 195
Hidrogenación, 34, 115, 216
Hidrógeno, puente de, 4
Hidrolasa, 27, 158
Hidrolizado de proteína, 75
Hidroponia, 249
Hielo, 5, 133, 225
  seco, 8, 195
Hierro, 73, 118, 163, 205, 229
Higo, 212
Higroscopicidad, 124, 139, 152, 164, 246
Hipertensión, 60, 74, 79
Histamina, 82, 221, 237
HLB, 158
HMF, 21, 246
Hojalata, 127
Hojaldre, 181
Homocisteína, 68, 71, 80
Homogeneización, 217
Hongo, 91, 100, 121, 212
Horchata, 251
Hormona, 69, 70, 73, 91, 102, 226, 249
Hornear, 109, 116, 180, 232
HPP, 145
HTST, 126, 183, 217
Hueso, 71, 72, 73, 230
Huevo, 82, 110, 239
  cáscara de, 240
Huitlacoche, 246
Humectante, 163
Humedad intermedia, alimento de, 95, 126, 140
Humeo, punto de, 34, 114
Humo, 51, 140

I

Ictiotoxicidad, 237
IDA, 150, 157
IMF, 140
Índice
  de masa corporal, 60
  de peróxido, 37
  de yodo, 32
  glucémico, 65
Indol, 78
Infección, 96
Información nutrimental, 84
Infrarrojo, 42, 142
Infusión, 252
Ingeniería genética, 158, 248
Inhibidor de tripsina, 102, 187
Inmunoglobulina, 22, 82, 139, 213
Inóculo, 219, 223
Inosinato de sodio, 47, 165, 236, 238
Inositol, 80
Insecto, 245
Insulina, 22, 65, 70, 81, 162
Interesterificación, 35
Intolerancia, 82
Intoxicación, 96
Inulina, 19, 166, 199
Invertasa, 158, 246
IQF, 135
Irradiación, 143, 248
Islanditoxina, 100
Isoflavona, 45, 187
Isomaltulosa, 157
Isotiocianato de alilo, 55, 79, 200
IU, 70

J

Jalea real, 246
Jamaica, 251
Jarabe, 127, 140, 150, 158, 162
  invertido, 13
Jengibre, 159
Jícama, 185, 205
Jitomate, 66, 137, 191, 201
Jocoque, 223
Joule, 63
Jugo, 64, 66, 78, 127, 136, 190, 204

K

Kefir, 223
Kobe, 227
Kwashiorkor, 59

L

α-Lactoalbúmina, 25, 81, 215
β-Lactoglobulina, 25, 82, 215
Laca, 153
Lactasa, 27, 62, 82, 158
Lácteo, 213, 217
Lactitol, 163, 166
Lactosa, 14, 65, 82, 216
Lactulosa, 14, 81, 166
Lamela, 52, 244
Laminado, 131
Lata, 99, 124, 127
Leche, 51, 82, 136, 213, 217
  deslactosada, 81, 216
  evaporada, 218

Lechuga, 66, 191, 205
Lecitina, 33, 36, 158, 186, 240, 244, 248
Lectina, 187
Legumbre, 185, 188
Leguminosa, 185
Lenteja, 185, 188
Leptospirosis, 99
Leucoantocianidina, 209
Levadura, 27, 75, 91, 121, 151, 165, 179
Levulosa, 13
Licopeno, 37, 45, 78, 201
Light, 84, 254
Lignano, 79, 253
Lignina, 18, 66
Lima, 210
Limón, 29, 210, 251
Linamarina, 205
Linaza, 79
Lino, 79
Liofilización, 8, 106, 139, 253
Lipasa, 27, 62, 158
Lípido, 30
Lipogénesis, 65
Lipólisis, 29
Lipoproteína, 68, 69
Lipoxigenasa, 27, 36, 49, 151
Lisina, 22, 163
Lisozima, 154, 241, 243
Listeria, 98, 234
Litesse, 160
Lixiviación, 14, 44, 107, 128, 196
Llenado aséptico, 126, 129
Lombriz, 91, 101
Luteína, 45, 78, 203, 205, 241
Luz, 42, 124

M

Maduración
  de la carne, 227
  de la fruta, 208
  del queso, 221
Magnesio, 73, 163, 202
Magro, 228, 230, 232
Maillard, reacción de, 20, 106, 107
Maíz, 172
Mal aliento, 76
Malta, 185
Maltol, 165
Maltosa, 14, 65, 185
Mamey, 191
Mandarina, 210
Mandioca, 205
Manganeso, 80
Mango, 210
Manitol, 163
Manteca
  de cacao, 30, 35, 247
  de cerdo, 30, 33, 226, 230
Mantequilla, 30, 34, 51, 115, 224
Manzana, 191, 193, 207, 209
Marea roja, 238
Margarina, 34, 51, 224
Marinación, 229, 231, 238
Marmoleado, 230
Masa de panificación, 176
Mascabado, 168
Mayonesa, 51, 244
Mejorador de pan, 151
Melamina, 102
Melanina, 29
Melanoidina, 20, 71
Melatonina, 81
Melaza, 168
Melcocha, 210
Membrillo, 209
Menaquinona, 72
Menta, 55, 159
Mercaptano, 108
Mercurio, 90, 99, 237
Merengue, 52, 244
Mermelada, 137, 144
Mesófilo, 94
Metabolismo, 63, 64, 69
Metabolómica, 61
Metal pesado, 90, 192
Metamioglobina, 47, 142, 229
Meteorismo, 14, 82
Metionina, 22, 163
Micela, 214
Micología, 171
Micotoxina, 97, 100
Microbiología, 92
Microencapsulación, 80, 139, 150
Microonda, 108, 136, 142
Miel de abeja, 13, 21, 102, 246
Mielina, 80
Migajón, 178
Mijo, 185
Mineral, 72, 150
Mioglobina, 46, 229
Miosina, 227, 229

Miraculina, 25, 47
Mirosina, 200
Molusco, 235
Monoglicérido, 30, 152, 158
Monosacárido, 11
Moronga, 226, 234
Mostaza, 159, 244
Mousse, 52, 106
MPF, 126
MSG, 165
Músculo, 226, 229
Mutágeno, 87

N
Nanotecnología, 80, 131, 150
Nanoterapia, 80
Naranja, 210
Naringina, 46, 47, 210
Nata, 216, 218
Natamicina, 156
Nejayote, 175
Neohesperidina, 47, 156
Neotame, 23, 157
Niacina, 38, 70, 174
Nisina, 22, 156
Nitrato, 128, 155, 233
Nitrito, 154, 205, 233
Nitrógeno, 128, 134, 142
Nitrosamina, 156, 205
Nitrosomioglobina, 116, 156, 229, 233
Nixtamalización, 70, 174,
Nocireceptor, 50
Nopal, 66, 202
NPR, 66
Nuez, 82, 188
Nutracéutico, 80
NutraSweet, 157
Nutrición, 60
Nutrificación, 162
Nutrigenómica, 59
Nutrimento, 60, 162

O
Obesidad, 60, 64, 77, 254
Obesogénico, 60, 78
Ocratoxina, 100
OGM, 248
Óhmico, calentamiento, 147
Oído, 41, 49
Oleaginosa, 30, 185
Oleiletanolamida, 35, 188
Oleorresina, 167
Olfato, 41, 48
Oligofructosa, 166
Oligosacárido, 11, 13
Olla a presión, 92, 113
Omega, ácido, 32
OMS, 9, 190
ORAC, 78, 159
Orégano, 159
Orgánico, alimento, 249
Orizanol, 184
Oscurecimiento, 19, 28
OSI, 37
Ósmosis, 10, 127, 137, 140, 144, 191, 210, 222, 235
Osteoporosis, 68, 75, 79, 187, 254
Overrum, 225
Ovoalbúmina, 25, 82, 241
Oxalato, 73
Óxido de etileno, 155, 159
Oxígeno, 95, 141
Oxitetraciclina, 156
Ozono, 10, 146

P
PAH, 117
Palatinosa, 157
Palmitato de ascorbilo, 152
Pan, 178
  endurecimiento, 18, 133, 181
  hilado, 182
Panificación, 178
Papa, 114, 115, 191, 203
Papaína, 27, 158, 211, 228, 231
Papaya, 210
Papel, 124, 129
Papel aluminio, 119, 129
Paprika, 153, 200
Parabeno, 154
Paracelso, 87
Paratifoidea, 98
Paratión, 89, 99
Parboiled, 184
Parkinson, 90, 252
Pasita, 212
Pasta, 182
Pasteurización, 217
  hiperbárica, 127, 145, 198
Patulina, 100, 194
Pectina, 18, 66, 138, 161
Pectinasa, 158

PEF, 147
Pelagra, 70, 172
Penicillium, 100
Pepián, 199
Pepino, 66, 202
Pepsina, 62
Péptido, 23
PER, 66
Pera, 207, 209
Percolación, 253
Perejil, 193
Peroxidasa, 127
Peróxido
  de benzoílo, 151
  índice de, 37
Persulfato de amonio, 151
Pescado, 82, 234
PET, 130, 254
pH, 94, 272
Pib, 114
Picolinato de cromo, 80
Picor, 55, 200
Pigmento, 42
Piloncillo, 168
Pimentón, 200
Pimienta, 33, 57, 159
Piña, 27, 167, 211
Piñón, 188
Pipián, 199
Piretrina, 249
Piretroide, 89, 249
Piridoxina, 38, 70, 163
Pirocarbonato de dietilo, 155
Pirólisis, 20
Piscifactoría, 234
Pistache, 188
Plaguicida, 89, 102, 192
Plasmólisis, 144, 180
Plástico, 124, 130
Plata, 118, 193
Plátano, 207, 210
Plato del bien comer, 76
Plomo, 90
Plumbosis, 90
Podredumbre, 194, 245
Polibond, 131
Polibutadieno, 127
Polidextrosa, 160, 166
Polietileno, 129, 130, 131
Poliestireno, 130
Polifán, 131
Polifenol, 29, 78, 152
Polifenoloxidasa, 27, 29
Poliol, 140, 150, 163
Polipéptido, 23
Polipropileno, 130
Polisacárido, 11, 15
Polivinilpirrolidona, 169
Polvo para hornear, 150, 164, 178
Porcelana, 118
Potasio, 74, 75, 202
Potenciador de sabor, 47, 75, 164
Potencial de óxido-reducción, 95
Potomanía, 65
Pouche, 131
ppm, 9, 270
Prebiótico, 66, 73, 145, 150, 165
Prión, 22, 91, 101
Proantocianidina, 46
Probiótico, 145, 150, 165, 223
Prolamina, 25
Propiocepción, 50
Propionato, 154
Proteasa, 27, 158
  inhibidor de, 102
Proteína, 21, 66
  vegetal hidrolizada, 165
Proteómica, 22
Protozoo, 91, 100
Protrombina, 72
Psicrófilo, 94
Psoraleno, 193
Ptomaína, 23
Puente de hidrógeno, 4
PUFA, 31
Pungencia, 55, 192, 200
Punto de fusión, 33, 34
Punto de humeo, 34, 114
Punto de ignición, 34
Puntuación Química, 66
Putrefacción, 122, 221
Putrescina, 23, 234
PVC, 130
PVH, 165
Pyrex, 119

Q

Q_{10}, 28, 113, 132
Quelante, 168
Quelite, 206
Queratina, 22, 25, 91, 233
Quercetina, 45, 189, 199, 200

Queso, 219
Americano, 222
Quimosina, 27, 158
Quimotripsina, 27
Quinina, 193
Quinona, 29
Quitina, 19, 212, 236, 246

R
Rábano, 199, 200
Radiación, 108, 142
Radical libre, 37, 71, 75, 82, 152
Rafinosa, 14
Rancidez, 33, 36, 114, 122, 137
Raquitismo, 72
Rayos
gama, 143
X, 89, 142, 143
Rebaudiosido, 156
Reconstitución, 162
Redox, 95
Refinación de aceite, 33, 79
Refresco, 64, 77, 134, 254
Refrigeración, 132
Relación de eficiencia proteica, 66
Remolacha, 168
Renina, 27, 158
Reología, 53
REP, 66
Requesón, 222
Resina de intercambio iónico, 11
Resina fenólica, 127
Restaurante chino, síndrome de, 165
Resveratrol, 79, 212
Reticulina, 230
Retinol, 70, 163
Retorta, 113, 128
Retrogradación, 17, 133, 181
Riboflavina, 38, 70, 153, 214
Ribonucleótido, 47, 165
Ribosa, 13, 81
Rigor mortis, 227, 236
Rodopsina, 71
Rojo, 42, 154
Romero, 152
Rostizar, 109, 116, 232
Rumiante, 65, 225
Rutina, 46

S
Sabor, 41, 47
Saborizante, 150, 166
Sacarasa, 62, 158
Sacarina, 157
Sacarosa, 13, 65
Sal, 74, 99, 140, 150, 167
Salado, 47, 48, 144
Salazón, 144
Salchicha, 233
Salmonela, 98
Salmuera, 127
Salteado, 114, 197, 232
Salvado, 176, 183
Salvia, 152, 185
Sandía, 211
Sangre, 46, 70, 74, 227
Saponina, 102, 187
Sarán, 29
Saturnismo, 90
Sebo, 30, 33
Secuestrante, 29, 150, 168
Selenio, 80
Se-Met, 80
Sémola, 176, 182
Semolina, 176
Serotonina, 81
Sésamo, 185, 188
Shigela, 98
Shortening, 34
Shot, 81
Simeticona, 14
Sinalbina, 200
Síndrome Metabólico, 60, 69, 77
Sinéresis, 17, 55, 158, 161, 223
Sinergia, 152
Sinigrina, 200
Sitio activo, 28
Sitosterol, 79, 203
Sodio, 74
Sol, 51, 53, 66
Solanina, 102, 193, 204, 206
Solitaria, 101
Sonicación, 147
Sorbato, 155
Sorbitol, 80, 163, 209, 238
Soya, 82, 186
Splenda, 157
Spray drying, 139
Squeezeable, 132
Staphylococcus aureus, 94, 218
Sublimación, 8, 139, 195
Sucralosa, 157
Suero de la leche, 214, 220, 222
Sulfito 29, 82, 128, 154, 212

Sulfomioglobina, 229, 234
Sulforafano, 79, 200
Súper fruta, 207
Surimi, 158, 238
Sustentabilidad, 125, 130
Sustituto de grasa, 68, 150, 168
Sustituto de sal, 75
Sweet´n Low, 157

T
Tacto, 41, 49
Tamarindo, 251
Tanino, 29, 45, 79, 218, 252
Tapioca, 205
Tarrina, 233
Tartracina, 83, 154
Taumatina, 22, 156
Taurina, 81
TBHQ, 34, 152
Té, 64, 79, 252
Teaflavina, 252
Teflón, 119
Teína, 68, 252
Tejido conectivo, 230
Tejocote, 209
Tempeh, 14, 187
Temperatura, 94, 108
Teniasis, 101
Tensión superficial, 5, 158
Teobromina, 193, 247
Tepache, 145, 211
Tequesquite, 174, 196
Teratógeno, 87
Terbutilhidroxiquinona, 152
Termófilo, 94
Termogénico, 56, 68
Termopar, 116
Terpeno, 44, 78, 203
Tetra Brik (Pak), 129, 214, 218
Tetradotoxina, 237
Textura, 41, 50
Tiamina, 38, 70, 163
TIF, 227
Tifoidea, 92, 98
Tioglucósido, 13, 187, 200
Tiramina, 221, 237
Tirosinasa, 29
TMA, 236
Tocoferol, 70, 72, 152
Tocotrienol, 72
Tofu, 14, 187
Tomaína, 23
Tomate, 201
Tomatillo, 201
Toronja, 76, 193, 210, 249
Tortilla, 74, 173, 175
Toxicidad, 87, 150
Tóxico, 88, 96
Toxiinfección, 96
Toxoplasmosis, 100
Trans, ácido, 32
Transgénico, 34, 201, 248
Transglutaminasa, 54, 158
Trehalosa, 14, 83
Triglicérido, 30
Trigo, 83, 172, 175
  germen de, 176
  sarraceno, 185
Trimetilamina, 236
Trimetilglicina, 81
Tripsina, 27, 62
Triptófano, 22
Triquinosis, 101, 234
Trufa, 212
Tubérculo, 203
Tuberculosis, 99, 217, 222
Tuna, 202, 209
Turgencia, 43, 49, 135, 190, 194, 196

U
Ubiquinona, 80
UFC, 92
UHT, 218
UI, 70
Ultrapasteurización, 217
Umami, 22, 47, 48, 75
Unidad Internacional, 70
Uperización, 218
Urea, 237
UV, 10, 75, 124, 142, 228
Uva, 191, 212

V
Vaca, aspectos, 213
Vacas locas, enfermedad de las, 101
Vainilla, 159, 167
Vainillina, 159, 167
Valina, 22
Vapor, 5, 127
  cocción con, 113
Vegetal, 64, 189
  conservación, 195
  cocimiento, 196

Verbascosa, 14
Verde, 42
Verdura, 189, 197
Verme, 101
Vicina, 188
Vidrio, 118, 124, 129
Vinagre, 29, 145
Virus, 91, 101
Viscosidad, 53
Vista, 41
Vitámero, 70
Vitamina, 38, 69, 150
  A, 39, 70, 71
  B12, 38, 70
  C, 13, 20, 29, 38, 70, 71, 152
  D, 39, 69, 70, 72
  E, 39, 70, 72, 152
  K, 39, 72
  T, 60, 173
VNR, 85, 265

W
WPC, 222
WPI, 222

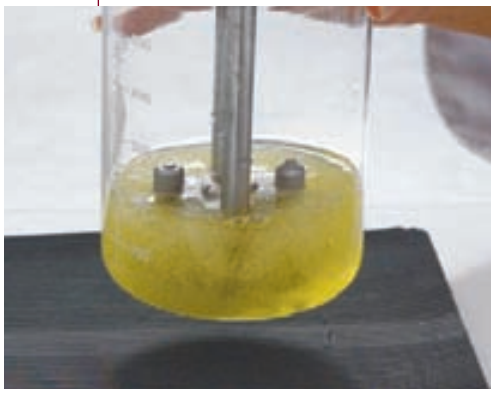
X
Xantana, goma, 160
Xantina, 253
Xantófila, 44
Xilitol, 55, 163
Xoconostle, 45, 202

Y
Yema, 82, 240
Yodato de potasio, 151
Yodo, 73, 193
  índice, 32
Yogur, 222
Yuca, 205

Z
Zanahoria, 191, 204
Zapote, 212
Zeaxantina, 45, 78, 203, 241
Zeína, 25, 173
Zinc, 73, 80
Zona de peligro, 94, 97

ESPUMA

Dispersión de aire en agua



Las espumas son muy útiles como agentes de textura en alimentos. El mejor espumante corresponde a la proteína de la clara de huevo, y es principalmente albúmina. Es importante que el huevo esté fresco para que las propiedades espumantes de la albúmina sean las más altas.

Para elaborar una espuma se requiere de un esfuerzo mecánico que ayude a la incorporación del aire en la solución de la proteína. Este aire se dispersa en pequeños glóbulos en la solución acuosa y luego la proteína rodea cada glóbulo de aire, manteniéndolo estable y separado de los demás.

EMULSIÓN

Aceite en agua

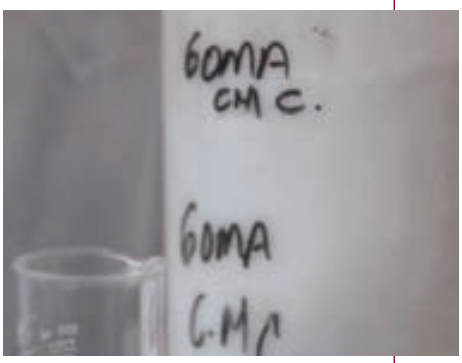
En una emulsión de aceite en agua podemos distinguir dos fases principales: la fase continua, que corresponde al agua, y la fase dispersa, que corresponde al aceite. Para lograr una mezcla es necesario colocar un agente tensioactivo, surfactante o emulsificante que reduzca la tensión existente entre ellos. Uno de los más utilizados en la industria de los alimentos es la lecitina de soya, que en este caso se mezcla con el aceite.

La fase dispersa se adiciona lentamente a la fase continua para permitir una dispersión con ayuda de un esfuerzo mecánico que genere pequeñas gotas de aceite que estarán rodeadas del agente tensioactivo. Esto es lo que va a permitir que se encuentren dispersas en el líquido, en el cual son inmiscibles, pero al reducirse la tensión interfacial parecerá una solución.

HELADO

Espuma y emulsión

Los helados son una mezcla muy compleja entre una espuma y una emulsión. La fabricación de helados requiere de aditivos en proporciones menores al 1% de la mezcla. En este caso, el monoestearato de glicerilo, conocido como monogrol, es el tensioactivo utilizado para favorecer la emulsión de los lípidos en el agua; además, mejora la textura, incrementa la incorporación de aire y evita la formación de cristales. Por otra parte, la goma carboximetilcelulosa, o CMC, ayuda a estabilizar la mezcla y la espesa.



El batido agrega aire a la mezcla mientras se emulsionan los lípidos que aportan los ingredientes (la crema, la leche fluida y la leche en polvo) con el agua que contienen. Adicionalmente se añade azúcar y un saborizante; puede también agregarse un colorante.

PANIFICACIÓN

Masa de hojaldre

La masa de hojaldre se prepara con harina de trigo, mantequilla, agua y sal. No se agrega polvo para hornear debido a que las burbujas de aire caliente que se desprenden de la masa durante el horneado son las que proveen la presión interna necesaria para que el gluten de trigo de la masa se expanda. El calor derrite la mantequilla entre capas; esto las separa y expande a lo alto del hojaldre y lo deja liviano y crujiente.

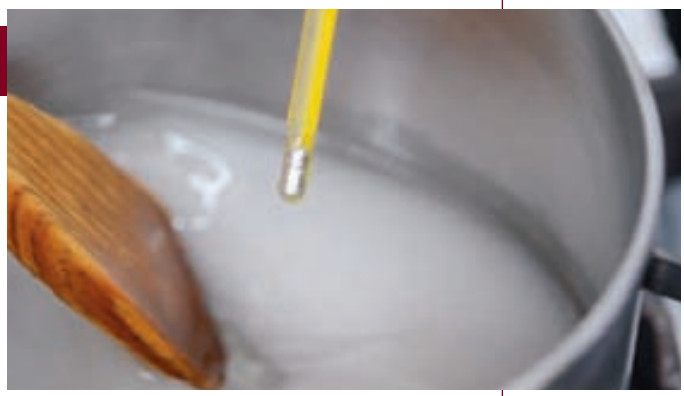
QUESOS
Cuajada de queso

Las proteínas de la leche se dividen en dos grupos: las caseínas, que representan el 80%, y las proteínas del suero que equivalen al restante 20%. Ambos grupos se separan durante la elaboración de quesos, pero en conjunto tienen gran biodisponibilidad y un buen perfil de aminoácidos.

Para elaborar quesos es necesario que estas proteínas se separen, lo que se logra por medio de la renina (conocida también como cuajo) o algún sustituto microbiano. De esta forma quedan, por un lado, los sólidos de la leche y, por el otro, el suero que en la preparación del queso se desecha.

GASTRONOMÍA MOLECULAR

Azúcar efervescente



El azúcar efervescente se prepara a partir de una solución concentrada de agua y azúcar que se calienta hasta alcanzar los 112 °C. Una vez que esta solución se retira del fuego y ha bajado un poco la temperatura, se le agrega el aditivo *Fizzy* para darle la textura efervescente. Se le puede añadir la ralladura de la cáscara de algún cítrico para darle un toque de sabor.

El *Fizzy* está formado por bicarbonato de sodio y ácido tartárico que, al ponerlos en contacto con la solución acuosa, reaccionan liberando dióxido de carbono (CO_2) el cual es atrapado por el azúcar, lo que le provee una textura efervescente tanto a la vista como al paladar, muy diferente a la del azúcar granulada. Debido a esta efervescencia, el azúcar aumenta su tamaño; posteriormente se cristaliza y endurece.

GASTRONOMÍA MOLECULAR

Espagueti de parmesano

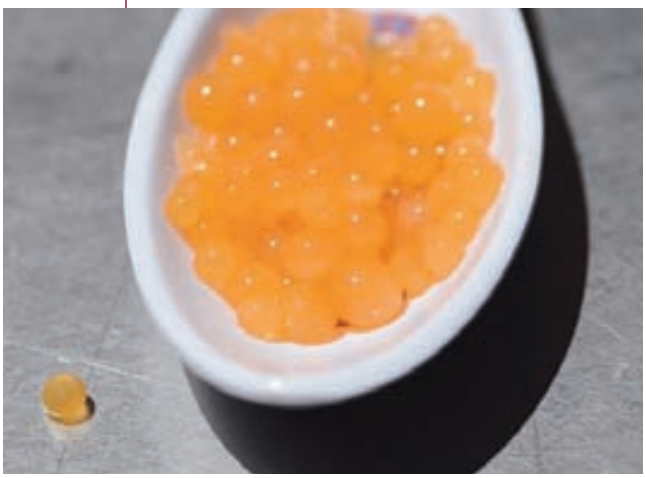
El uso de gomas gelificantes en la elaboración de alimentos ha evolucionado considerablemente en la cocina moderna, ya que permiten obtener nuevas texturas y formas, añadir nuevos sabores a guisos tradicionales y capturar otros aromas. Como en el caso de este espagueti de parmesano preparado con base en un caldo al que se añadió queso parmesano rallado para agregarle sabor, color y aroma. La incorporación de agar-agar a la mezcla permite la gelificación del caldo a baja temperatura.

Para obtener la forma de hilos del espagueti, se introduce la mezcla en una cánula con la ayuda de una jeringa, y se deja reposar por una hora sumergida en agua helada. Pasado ese tiempo, con la misma jeringa, ahora llena de aire, se empuja el espagueti hacia fuera de la cánula.

GASTRONOMÍA MOLECULAR

Caviar de melón

La esferificación es la gelificación controlada de una sustancia líquida al ser sumergida en una solución para obtener esferas. En el caso de una esferificación directa como la que se muestra en estas fotografías, una goma se pone en contacto con una sal que le ayuda a gelificar. La goma usada para obtener el caviar de melón es el alginato de sodio, o algil, disuelto previamente en jugo de melón.



El cloruro de calcio, o calcic, es la sal que, disuelta en agua, ayuda a formar las esferas al dejar caer pequeñas gotas de jugo de melón con el algil en la solución salina. Después de estar inmersas un minuto en este baño, las esferas deben tener una consistencia gelatinosa en el exterior y conservar su consistencia líquida en el interior, lo que provoca sensaciones nuevas en la degustación.

GASTRONOMÍA MOLECULAR

Ravioles de mango

El proceso de elaboración de ravioles de mango también es una esferificación directa.

Debido a la acidez de esta fruta, se requiere la adición de citrato de sodio (llamado también citras), que es una sal con la propiedad de regular la acidez de los alimentos para poder llevar a cabo la esferificación. Primero se disuelve el citras en agua y luego se agrega el algil; esta solución se lleva al hervor y al enfriar se agrega el puré de mango.

Se prepara una solución de calcic en agua y se depositan pequeñas cantidades de la mezcla de mango, asegurándose de bañarlas completamente con la solución salina, de modo que se forme una película gelatinosa en el exterior de la mezcla por la acción del calcic al entrar en contacto con el algil. Después de dos minutos, los ravioles esféricos se sacan de la solución salina, se enjuagan con agua potable para evitar que sigan gelificándose, y se escurren. La consistencia de estas esferas es similar a las del melón; sin embargo, debido a su tamaño, contienen una mayor cantidad de mango líquido en su interior.

GASTRONOMÍA MOLECULAR

Esferas de yogur

A diferencia de la esferificación directa, en la esferificación inversa el algil no se mezcla con el líquido que se desea esferificar. Se prepara una solución de algil en agua para realizar en ella la inmersión del líquido a esferificar.

En el caso del yogur, el proceso se realiza a la inversa debido a que éste, al igual que otros productos lácteos, contiene de forma natural cloruro de calcio y si se le agregara el alginato, como se hace en la esferificación directa, el yogur se gelificaría de inmediato. Por esta razón las esferas de yogur se forman en la solución agua-alginato.

LA CIENCIA DE LOS ALIMENTOS EN LA PRÁCTICA

En las últimas décadas el cúmulo de conocimientos relacionados con cada uno de los eslabones que integran la cadena alimentaria ha crecido de manera exponencial; desde la producción primaria en el campo, en la granja o en el mar, hasta el consumo, pasando por las distintas etapas de transporte, industrialización, almacenamiento, comercialización y preparación en la cocina.

La ciencia de los alimentos estudia todos los aspectos relacionados con su manejo y consumo; se trata de una ciencia multidisciplinaria, y por consiguiente muy amplia y compleja, ya que está integrada por áreas como la química, la bioquímica, la nutrición, la biología, la microbiología, la ingeniería, la física y la toxicología.

Los nueve capítulos que integran este libro cubren temas que van desde la naturaleza química de los alimentos y los métodos de conservación, hasta el análisis de los alimentos más relevantes; todo ello presentado con un enfoque práctico, en un lenguaje claro y con la terminología técnica indispensable. Los principios de la química que se incluyen en el texto están descritos de manera sencilla, aun para aquellos sin conocimientos sobre esta disciplina.

El material que integra este texto está diseñado para utilizarse en las distintas licenciaturas relacionadas con el estudio formal de los alimentos, como son: gastronomía, química, ingeniería y nutrición; también resulta un excelente libro de consulta para cualquier persona.

El doctor Salvador Badui cuenta con una amplia experiencia de más de cuatro décadas, tanto en el ámbito industrial como en el académico, siempre relacionado con el área de los alimentos. Además, es autor del libro *Química de los alimentos*, utilizado como texto en varias instituciones educativas de nivel universitario.

Este libro cuenta con fotografías y videos que muestran los procesos de elaboración de emulsiones y espumas en la fabricación de helado, y procesos de la gastronomía molecular como la esferificación, entre otros.

Acuda al sitio web donde encontrará el material adicional:
www.pearsoneducacion.net/badui

ISBN 978-607-32-0843-7
90000
9 786073 208437

Visítenos en:
www.pearsoneducacion.net